



METODIKA

VYUŽITÍ DYNAMICKÝCH HD MAP PRO POTŘEBY AUTONOMNÍ MOBILITY

Schválená metodika

Využití dynamických HD map pro potřeby autonomní mobility

Zpracovatel:	České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní CEDA Maps a.s.
Autoři:	doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D., MBA doc. Ing. Zdeněk Lokaj, Ph.D., LL.M. Ing. Tomáš Kohout Ing. Miroslav Vaniš, Ph.D. Mgr. Radovan Prokeš Bc. Michal Kvapilík Ing. Leon Swientek
Oponenti:	doc. Ing. Rastislav Pirník, PhD. - Žilinská univerzita v Žilině (Fakulta elektrotechniky a informačních technologií) Ing. Luděk Šantora - Správa Informačních Technologií města Plzně, p.o
Schvalovací orgán:	Ministerstvo dopravy ČR
Datum schválení:	4/2025
Výstup projektu:	CK03000179 – Vytvoření dynamického digitálního modelu ulice pro potřeby autonomního řízení v Plzni
Finanční podpora	Program TAČR – DOPRAVA 2030
Počet stran:	93

Základní informace.....	5
Anotace	6
Seznam zkratk	7
1 Úvod	9
1.1 Cíl metodiky	9
1.2 Popis metodiky.....	10
2 Úvod pro problematiku.....	11
2.1 Autonomie	11
2.2 Vozidlo.....	12
2.3 Infrastruktura	13
2.4 Datové prostředí	13
2.5 Využívané technologie	15
3 Legislativa	19
3.1 Legislativní rámec pro autonomní dopravu, ochranu osobních údajů a kybernetickou bezpečnost 21	
4 Vozidlové technologie.....	23
5 Technologie na infrastruktuře	26
5.1 Senzory.....	26
6 Centrální prvky	28
6.1 C-ITS Back Office	28
6.2 Digitální dvojče.....	28
Agregování dynamických dat	31
Datový sklad historických dat	31
Rozhraní pro poskytování aktuálních situací	32
6.3 Dispečink dopravního podniku	32
7 Autonomní mobilita a HD mapy	34
7.1 Využití HD map z pohledu autonomních vozidel	34
7.2 HD mapy v procesu rozhodování autonomních vozidel	34
7.3 Aktuálnost a časová platnost dat	37
7.4 Lokality pro implementaci autonomní mobility.....	38

8	HD mapy a datový fond měst	39
8.1	Standardizace HD map	39
8.2	Současný stav tvorby HD map	40
8.3	Požadavky na polohovou přesnost	42
8.4	Mobilní mapování	43
8.5	Struktura HD map – objektový katalog	44
9	Datové toky	49
9.1	Komunikace, integrace	49
9.2	Vstupy dat 3. stran	52
9.3	Datové zdroje	53
10	Doporučené postupy při zavádění autonomních technologií	59
10.1	Návrh (vč. analýzy současného. stavu)	59
10.2	Pořízení	64
10.3	Implementace a integrace (vč. dílčího testování)	66
10.4	Integrační testy	70
11	Popis uplatnění, benefity a další přínosy	74
11.1	Autonomní dopravní prostředky	74
11.2	Preference MHD/IZS	74
11.3	Využití HD map v prostředí měst	75
12	Ekonomické aspekty	77
12.1	Technologie na infrastrukturu	77
12.2	Centrální prvky	77
12.3	HD mapy a datový fond měst	77
13	Srovnání novosti postupů	79
14	Závěr – Manažerské shrnutí	80
15	Seznam literatury	81
	Přílohy	83
	Výsledky - shrnutí	88
	Výsledky jednotlivých testů	89
	Celkové vyhodnocení scénáře	92

Základní informace

Číslo projektu:	CK03000179
Název projektu:	Vytvoření dynamického digitálního modelu ulice pro potřeby autonomního řízení v Plzni
Program:	TAČR DOPRAVA 2020+
Doba řešení:	1/2022–12/2024
Hlavní řešitel:	INTENS Corporation s.r.o.
Další účastníci projektu:	Západočeská univerzita v Plzni České vysoké učení technické v Praze CEDA Maps a.s. ŠKODA TRANSPORTATION a.s. ŠKODA DIGITAL s.r.o
Zpracovatelé dokumentu:	doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D., MBA doc. Ing. Zdeněk Lokaj, Ph.D., LL.M. Ing. Michal Malý Ing. Tereza Kunclová, MSc. Ing. Tomáš Kohout Ing. Miroslav Vaniš, Ph.D. Mgr. Radovan Prokeš Ing. Richard Rek, MSc. Mgr. Adam Štencek Bc. Michal Kvapilík Mgr. Eva Mulíčková Ing. Martin Vacenovský Ing. Lubomír Tříška Ing. Matěj Malý Ing. Lukáš Pícek Ph.D. doc. Ing. Karel Janečka Ph.D. Ing. Leon Swientek Ing. Tomáš Vajsner Ing. Michal Mrázek

Anotace

Název:

Využití dynamických HD map pro potřeby autonomní mobility

Abstrakt:

Účelem metodiky je identifikovat možnosti využití modelů měst pro potřeby autonomní mobility. V dokumentu jsou identifikována technologická a datová minima a optima při vybavování vozidel a infrastruktury pro potřeby autonomní mobility v souvislosti se sběrem informací pro tvorbu dynamických datových vrstev a aktualizaci modelů zejména se zaměřením na tramvajový provoz ve městě. Zároveň jsou identifikovány další možnosti využití dat získaných senzory na vozidlech a infrastruktuře. Metodika reflektuje nové trendy v geoinformatice a zavádění HD map, které jsou důležité pro autonomní vozidla nejen pro přesnou lokalizaci, ale i definovaný charakter a průběh reliéfu vlastní pozemní komunikace v daném místě pro orientaci autonomního systému. Zároveň jsou uvedeny požadavky výrobců vozidel s důrazem na provoz autonomních tramvají. Metodika obsahuje také expertní doporučení pro implementaci dynamických HD map ve městech vycházející ze skutečných výstupů z pilotních testů implementace dynamického 3D modelu pro potřeby autonomní mobility pro tramvajový provoz ověřený na kolejové síti ve městě Plzni. Metodika je určena především správcům dopravní infrastruktury a provozovatelům městské hromadné dopravy ve městech při implementaci technologií pro podporu autonomní mobility se zaměřením na městskou kolejovou dopravu – tramvaje.

Klíčová slova:

Autonomní doprava, tramvaj, MHD, C-ITS, HD mapa, řídicí systém.

Schvalovací orgán:

Ministerstvo dopravy ČR – odbor ITS, kosmických aktivit a VaVal

Seznam zkratek

Zkratka	Česky	Anglicky
ADAS	Pokročilé asistenční systémy řidiče	Advanced Driver Assistance Systems
APN	Přístupový bod	Access Point
BO		Back-office
C-ITS	Kooperativní inteligentní dopravní systém	Cooperative Intelligent Transport System
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze	Czech Technical University in Prague
DD	Digitální dvojče	Digital Twin
GNSS	Globální navigační satelitní systém	Global Navigation Satellite System
GoA	Úroveň automatizace	Grade of Automation
HD	Vysoké rozlišení	High Definition
HTTPS	Zabezpečený Hypertext protokol	Hypertext Transfer Protocol Secure
HW		Hardware
IMU	Inerciální měřicí jednotka	Inertial Measurement Unit
ITS	Inteligentní dopravní systém	Intelligent Transport System
IZS	Integrovaný záchranný systém	Integrated Rescue System
MoMa	Mobilní mapování	Mobile Mapping
OBU	Palubní jednotka	On-Board Unit
PDZ	Proměnné dopravní značení	Variable Traffic Signage
PKI	Bezpečnostní infrastruktura	Public Key Infrastructure
REST API		Representational State Transfer Application Programming Interface
RSU	Jednotka na infrastruktuře	Road Side Unit

ŘS	Řídicí systém	
SSZ	Světelné signalizační zařízení	
SW		Software
TKP	Technické kvalitativní podmínky	
TP	Technické podmínky vydané Ministerstvem dopravy	
V2X	Typ Komunikace vozidla	Communication Vehicle-to- Everything
ZPI	Zařízení pro provozní informace	

1 Úvod

V souvislosti s rostoucím zájmem o autonomní mobilitu se stávají dynamické HD mapy klíčovým prvkem pro efektivní a bezpečné provozování autonomních vozidel. HD mapy, neboli „High Definition“ mapy, jsou digitální mapy s vysokým rozlišením, které obsahují detailní informace o silniční síti a okolním prostředí. Tyto mapy jsou obvykle vytvářeny pomocí pokročilých technologií jako jsou lidary, kamery a GNSS, aby poskytovaly podrobné informace o vozovkách, dopravních značkách, budovách a dalších objektech. HD mapy jsou klíčovou součástí systémů autonomního řízení vozidel, protože poskytují vozidlům potřebné prostorové informace pro navigaci, plánování trasy a detekci překážek. Díky vysokému rozlišení a detailnosti mohou HD mapy pomáhat autonomním vozidlům lépe chápat své okolí a reagovat na něj adekvátně, což přispívá k bezpečnější a efektivnější autonomní mobilitě.

Tato metodika vychází z několika zdrojů. V první řadě se opírá se o expertní znalosti z oblasti autonomní mobility a HD map. Dalším zdrojem jsou výsledky testování provedeného v rámci projektu Didymos, který se zaměřuje na problematiku autonomní mobility a využití HD map. Metodika také čerpá z aktuálních informací dostupné odborné literatury, která reflektuje nejnovější trendy a poznatky v oblasti geoinformatiky a autonomního řízení. Tyto zdroje společně poskytly pevný základ pro definování požadavků na dynamické HD mapy a jejich implementaci pro potřeby autonomní mobility.

1.1 Cíl metodiky

Metodika má za cíl identifikovat možnosti využití digitálních modelů území pro potřeby autonomní mobility. Dokument stanovuje technologická a datová minima a optima pro vybavení vozidel a infrastruktury, která jsou nezbytná pro sběr informací, tvorbu dynamických datových vrstev a aktualizaci modelů. Současně se zabývá dalšími možnostmi využití dat získaných senzorikou na vozidlech a infrastruktuře. Stanovuje také minimální požadavky na HD mapy pro jejich efektivní využití v autonomních vozidlech a poskytuje expertní doporučení pro implementaci dynamických HD map ve městech, vycházející ze skutečných výstupů z pilotních testů ve městě Plzni.

Stanovení všech těchto kritérií, které vychází zejména z testování ve městě Plzni, a náročnost jejich splnění by mělo následně sloužit i dalším subjektům, především městům, při budoucím rozhodování o zavedení autonomní mobility.

1.2 Popis metodiky

V následujících kapitolách budou popsány jednotlivé kroky a postupy vedoucí k vytvoření digitálního modelu území pro potřeby autonomního řízení. Tuto značně komplexní problematiku je možné rozdělit do tří klíčových tematických oblastí:

1. 3D model/HD mapy
2. Technologie infrastruktury
3. Technologie vozidel

Každá z těchto oblastí vykazuje specifické požadavky v rámci tvorby výsledného modelu. Dále je vhodné vydefinovat základní oblasti, které ovlivňují provoz autonomních vozidel, případně jsou tímto typem provozu ovlivňovány. Postupné začleňování narůstajícího počtu autonomních vozidel do provozu na pozemních komunikacích i jejich samotný provoz bude představovat logické konsekvence pro oblast bezpečnosti, legislativy či pro oblast technických řešení. Z tohoto důvodu byly identifikovány relevantní oblasti, jejichž znalost je nutnou podmínkou pro vývoj autonomních vozidel a jejich zavádění do běžného provozu. Konkrétně se jedná o následující oblasti:

- Legislativa – právní rámec pro provoz autonomních vozidel, schvalovací procesy, odpovědnost při nehodách apod.
- Dopravní systém – pravidla, řízení dopravy, vztah k ostatním účastníkům provozu.
- Bezpečnost – opatření pro minimalizaci nehod, bezpečnostní protokoly, systémy nouzového zastavení.
- Lidé – interakce mezi autonomními vozidly a chodci, řidiči, cestujícími.
- Okolní svět – faktory prostředí jako počasí, viditelnost, městská versus příměstská oblast.
- Data – role dat při rozhodování vozidel, senzory, V2X komunikace.
- Infrastruktura – vztah k pevným prvkům dopravního systému (světla, značky, RSU, semaforey, parkovací systémy).
- Dispečink – monitorování autonomních vozidel, vzdálené řízení, zásahy při mimořádných situacích.

2 Úvod pro problematiky

2.1 Autonomie

Úrovně automatizace silničních vozidel

Automatizace silničních vozidel se dělí do celkem šesti úrovní. Od vozidla, které je vybaveno varovnými systémy a řídí jej pouze řidič, přes vozidlo vybavené asistenty pro parkování, pro udržování vozidla v určeném jízdním pruhu nebo pro udržení vzdálenosti mezi danými vozidly. U takto vybavených vozidel sice uvedené řídicí funkce probíhají automaticky, nicméně řidič musí být schopen kdykoliv převzít řízení. Posledním krokem postupného vývoje asistenčních systémů je stav, kdy řidič není potřeba a cíl cesty zadává cestující.

ÚROVNĚ AUTOMATIZACE PODLE SAE J3016™

		SAE Úroveň 0	SAE Úroveň 1	SAE Úroveň 2	SAE Úroveň 3	SAE Úroveň 4	SAE Úroveň 5
Co musíte dělat na místě řidiče?		Kdykoli jsou tyto podpůrné funkce řidiče aktivované, musíte řídit, a to i pokud nemáte nohy na pedálech			Když jsou tyto funkce automatizovaného řízení aktivované, neřídíte, a to ani když sedíte za volantem		
		Neustále na tyto podpůrné funkce řidiče musíte dohlížet; musíte ovládat směr i rychlost vozidla, abyste zachovali bezpečnost			Když vás funkce vyzvou, musíte řídit	Tyto automatizované funkce nevyžadují, abyste převzali řízení	
Funkce podpory řidiče Funkce automatizovaného řízení							
Co tyto funkce dělají?		Tyto funkce jsou omezeny na poskytování výstrah anebo okamžité asistence	Tyto funkce podporují řidiče ovládáním směru NEBO rychlosti	Tyto funkce podporují řidiče ovládáním směru A rychlosti	Tyto funkce umožňují ovládat vozidlo za definovaných podmínek a neaktivují se, dokud dané podmínky nenastanou		Tato funkce umožňuje ovládat vozidlo za všech okolností
Příklady Funkcí		- autonomní nouzové brzdění - sledování mrtvého úhlu - kontrola jízdního pruhu	- systém udržování v jízdním pruhu NEBO - adaptivní tempomat	- systém udržování v jízdním pruhu A - adaptivní tempomat souběžně	- asistent pro jízdu v koloně	- samoříditelné taxi ve vymezené oblasti - volant i pedály jsou volitelné	- stejné jako úroveň 4, ale tyto funkce ovládají vozidlo v jakýchkoli podmínkách

Obr. 1: Úrovně automatizace podle SAE (zdroj: www.sae.org)

Současná osobní vozidla komerčně dostupná na trhu odpovídají, v závislosti na typu vozidla a úrovni technické výbavy, stupni automatizace úrovně 1-2 (zcela výjimečně i vyšší). V některých státech světa provozují výrobci vozidel a technologické firmy v testovacím provozu dopravní prostředky úrovně 4-5.

Automatizace kolejových vozidel

Pro určení úrovně automatizace kolejových vozidel slouží klasifikace GoA (angl. Grade of Automation). Skládá se z 5 úrovní od GoA0 (žádná automatizace – vyžaduje plnou kontrolu jízdy strojvedoucím) až po GoA4 (plně automatická – všechny procesy a úkony jsou plně řízeny systémem vozidla. S rostoucí úrovní automatizace rostou i větší požadavky na podklady.

ÚROVNĚ AUTOMATIZACE PODLE GOA

	GoA0	GoA1	GoA2	GoA3	GoA4
Popis úrovně	Žádná automatizace. Řidič je plně odpovědný za všechny operace.	Řidič ovládá vlak s asistencí bezpečnostních systémů.	Automatizované startování a zastavování, řidič ovládá dveře a řeší nouzové situace	Plně automatizovaný provoz s průvodčím na palubě.	Plně automatizovaný bez personálu na palubě.
Provoz vlaku	Manuální	Manuální s asistencí	Semi automatický	Bez řidiče	Bez dozoru
Klíčové vlastnosti	Ruční řízení, vizuální signály, ruční bezpečnostní kontroly.	Řidič ovládá startování, zastavování, dveře; bezpečnostní systémy pouze asistují.	Automatizované řízení mezi stanicemi, řidič ovládá dveře a řeší nouzové situace.	Automatizované řízení a ovládání dveří, průvodčí přítomen pro nouzové situace.	Plně automatizované, bez personálu na palubě, monitorování a řízení probíhá dálkově.
Příklady z praxe	Tradiční železnice	Konvenční metro systémy	Victoria Line v londýnském metru	Některé linky pařížského metra	Thomson-East Coast Line v Singapuru

Obr. 2: Úrovně automatizace podle GOA (zdroj: ČSN EN 62290-1)

2.2 Vozidlo

Pro možnost autonomního provozu vozidla je nezbytné, aby vozidlo obdrželo informace z nejbližšího okolí. Primárně se jedná o informace z infrastruktury, které nahradí oči řidiče. V opačném případě je vozidlo slepé a neví, jak se má zachovat. Primárně jde o:

- velice přesnou lokalizaci na trati,
- informace o stavu výhybek,
- informace o křižovatkách a o stavu světelné signalizace,
- informace o pohybujících se objektech v blízkosti vozidla – ostatní účastníci provozu, tj. tramvaje, autobusy, trolejbusy, automobily, lidé, zvířata či nespecifikované předměty.

Je zapotřebí, aby dostupná technologie byla schopna zajistit dostatečnou spolehlivost, rychlost a přesnost s ohledem na povětrnostní podmínky, světelné podmínky, rychlosti vzájemně se pohybujících předmětů.

Technologie jako takové musí být minimalistické s ohledem na možnost integrace do vozidel hromadné dopravy, aby nedocházelo k navýšení hmotnosti či spotřeby energie, tj. přívětivé k životnímu prostředí.

2.3 Infrastruktura

Pro autonomní vozidla je klíčové, aby pro ně bylo vytvořeno prostředí, ve kterém se mohou pohybovat bezpečně, efektivně a bylo pro ně dobře „čitelné/rozpoznatelné“ z hlediska průběhu dopravní cesty, výskytu potenciálních překážek a pohybu ostatních účastníků provozu.

Nejde tedy pouze o kvalitu fyzického provedení dopravní cesty, ale i její vybavení digitální infrastrukturou a inteligentními dopravními systémy, které umožní sledovat provozní situaci a pomoci rozhodovat autonomním vozidlům o volbě jízdního režimu.

Autonomní vozidla budou využívat síťové spojení pro sdílení dat a komunikaci s jinými vozidly (V2V – Vehicle to Vehicle), infrastrukturou (V2I – Vehicle to Infrastructure) a centrálními servery (např. pro aktualizace map) pro sledování provozní situace, předvídání rizika, předcházení dopravním nehodám a pro zlepšení plynulosti dopravy.

Moderní dopravní infrastruktura musí být proto vybavena inteligentními dopravními systémy, které umožní získávat on-line informace zejména z a do systému inteligentního řízení křižovatek se SSZ, informace o aktuálním stavu dopravního značení, informace o počasí a stavu infrastruktury či informace ze systémů řízení dopravy v reálném čase (dispečinky). Tyto systémy poskytují vozidlům důležité informace, které jim pomohou rozhodovat se o rychlosti, změnách směru, povolení či omezení vjezdu a dalších manévrech a volbě jízdního režimu. Systémy doplňkových senzorů pak poskytnou informaci o aktuálních rizicích, sjízdnosti, nebezpečích, pohybu IZS (integrovaného záchranného systému), ostatních účastnících dopravního provozu. Tato data jsou také přenášena do centrálního prvku a zaznamenána v DD (digitálním dvojčeti), kde dotváří obraz zaznamenávané situace. Nejde však pouze o systémy detekce, ale i komunikační technologie, které zaručí předávání požadovaných informací dostatečně rychle a bezpečně.

Infrastruktura tedy hraje zásadní roli v úspěchu autonomního řízení a investice do chytré, udržitelné a propojené infrastruktury je proto klíčová pro zavedení autonomní mobility do každodenního života.

2.4 Datové prostředí

HD mapy

Automatizovaná vozidla vyžadují mapy, které jsou výrazně jiné než mapy, které se používají v běžných navigačních aplikacích. Řidiči dnes využívají k orientaci především digitální mapy pro plánování cesty a navigaci k cílové destinaci. Jak se však úkol řízení postupně posouvá od řidiče po automatizované systémy ve vozidle, role a rozsah digitálních map se posouvá a mění. Uživatel mapy již není řidič, ale především vozidlo.

Vzniká tak nová generace map, která je vytvořená účelově pro stroje. Jedná se o mapy ve formě vysoce přesné a realistické reprezentace komunikace a jejího okolí, obecně označované jako mapy s vysokým rozlišením (High-Definition Maps nebo zkráceně HD Maps). Jedná se o vysoce přesné mapy v řádu jednotek centimetrů, které jsou oproti běžným mapám obsahově mnohem obsáhlejší a jsou také častěji aktualizované.

Mapové podklady můžeme rozdělit do základních tří skupin:

- **Navigační mapy**, které poskytují základní geografické a silniční informace pro běžnou navigaci.
- **ADAS mapy (Mapy pro pokročilé asistenční systémy řidiče)**, které přidávají další vrstvu detailů, jako jsou informace o rychlostních limitech, pružích a dalších prvcích kritických pro pokročilé asistenční systémy řidiče. Tyto prvky mohou být sbírány s nižší polohovou přesností než pro HD mapy.
- **HD mapy** jsou nejpokročilejší a nejdetailnější mapy, které zahrnují všechny potřebné informace pro autonomní řízení, včetně velmi přesných údajů o infrastruktuře, které jsou nezbytné pro bezpečnou a efektivní autonomní navigaci.

Navigační mapy hrají významnou roli v nižších úrovních automatizace, zatímco ADAS mapy jsou klíčové pro střední úroveň, kde podporují pokročilé asistenční systémy. HD mapy jsou nezbytné pro vyšší úroveň automatizace (úroveň SAE 3–5, GoA 2-4), kde zajišťují přesnou lokalizaci, navigaci a interpretaci prostředí, což je klíčové pro autonomní řízení bez lidského zásahu.

Digitální dvojče

Digitální dvojče (zkráceně DD) je virtuální replika fyzického objektu, systému nebo procesu, která v reálném čase zobrazuje a ukládá jeho stav a chování. Tato technologie se může dotýkat různých aspektů života, například v průmyslu umožňuje sledovat a optimalizovat výrobu, v dopravě pomáhá řídit a plánovat provoz, v městském plánování může simulovat vývoj infrastruktury a v medicíně slouží k modelování lidského těla pro lepší diagnózu a léčbu. Díky tomu se digitální dvojče stává klíčovým nástrojem pro zlepšování efektivity, bezpečnosti a inovace v mnoha oblastech.

V této metodice se však zaměříme na digitální dvojče městské mobility, což je datové prostředí, které představuje virtuální model fyzického objektu (města) nebo systému (městská doprava) a umožňuje detailní sledování, zobrazování a ukládání dat v reálném čase.

Pro města to může znamenat vytvoření přesného digitálního modelu městské infrastruktury, jako jsou budovy, dopravní systémy nebo energetické sítě. Může také sloužit ke sledování dopravních situací a toků, kdy v reálném čase zobrazuje aktuální dopravní podmínky na základě dat z různých zdrojů, jako jsou senzory, kamery, GPS systémy či informace z jiných datových fondů (C-ITS, NDIC, FCD, ...). Tento model pak pomáhá optimalizovat provoz, plánovat budoucí rozvoj, sledovat stav technologií a simulovat různé scénáře, například dopady nové výstavby nebo krizových situací. Díky tomu může město efektivněji spravovat své zdroje a zlepšovat dopravní systém.

Zjednodušeně si lze digitální dvojče představit jako mapovou aplikaci s databází, která v reálném čase zobrazuje a uchovává informace o polohách vozidel MHD (včetně údajů ze senzorů), změny a údaje z dopravní infrastruktury (např. semaforey, kamery) a současně poskytuje aktuální data o dopravní situaci, počasí a další informace z různých zdrojů. Tato data lze následně využít v nástrojích pro predikci a analýzu dopravních jevů.

Hlavní rozdíl mezi HD mapou a digitálním dvojčetem spočívá v tom, že HD mapa poskytuje statická data s detailním a přesným modelem silniční infrastruktury a jejích prvků, které slouží jako základní vrstva pro polohovou orientaci objektů. Digitální dvojče naopak přidává dynamická data, zobrazující v reálném čase aktuální dopravní situace, pohyb vozidel a změny infrastruktury, čímž propojuje statická data z HD mapy s aktuálními informacemi.

2.5 Využívané technologie

C-ITS

C-ITS (kooperativní inteligentní dopravní systémy, Cooperative Intelligent Transport Systems) jsou pokročilé inteligentní dopravní technologie, které umožňují vozidlům, infrastruktuře a dalším účastníkům silničního provozu komunikovat a spolupracovat s cílem zvýšit bezpečnost a efektivitu dopravy. C-ITS je klíčovou komponentou pro rozvoj autonomních vozidel a zlepšení řízení dopravy.

C-ITS je decentralizovaný systém, umožňující dopravním prostředkům komunikovat mezi sebou, případně komunikovat s prvky umístěnými na dopravní infrastruktuře a přeposílat si důležité informace o dopravním proudu, či aktuální dopravní situaci.

Klíčové vlastnosti a využívané technologie C-ITS

1. V2X komunikace (Vehicle-to-Everything)
 - V2V (Vehicle-to-Vehicle): Umožňuje vozidlům sdílet mezi sebou informace, jako je rychlost, poloha a směr jízdy. To pomáhá například při varování před náhlým brzděním, které může předejít řetězovým srážkám.
 - V2I (Vehicle-to-Infrastructure): Vozidla mohou komunikovat s dopravní infrastrukturou, jako jsou semaforey, dopravní značky, nebo parkovací systémy. Například vozidlo může být varováno o blížící se červené na semaforu nebo o stavebních pracích na silnici.
 - V2P (Vehicle-to-Pedestrian): Spojení s chodci prostřednictvím jejich mobilních zařízení nebo jiných chytrých technologií může přispět k vyšší bezpečnosti v městském prostředí.
2. Mobilní datové sítě a bezdrátové komunikační technologie
 - DSRC (Dedicated Short-Range Communication): Technologie pro krátkodobou výměnu informací mezi vozidly a infrastrukturou na základě rádiového spojení, které je optimalizované pro potřeby dopravy. Tato komunikace je zprostředkována ve vyhrazeném pásmu ITS-G5 technologií. Základním kamenem C-ITS systému je hybridní jednotka, komunikující ve vyhrazeném frekvenčním pásmu 5,9 GHz a zároveň je připojena k datové síti pomocí sítě mobilních operátorů (LTE/5G). Pásmo 5,9 GHz je používáno pro přímou komunikaci s ostatními jednotkami, zatímco mobilní síť je používána ke komunikaci s centrálními prvky systému.
 - LTE/5G sítě poskytují vysokorychlostní a nízkolatenční připojení, což je klíčové pro C-ITS aplikace, které vyžadují okamžitou reakci (např. varování před kolizí).
3. Inteligentní senzory
 - Dopravní infrastruktura nebo i vozidla mohou být vybaveny různými senzory (kamery, LIDARy apod.), které sledují provoz a sbírají data o dopravní situaci. Tato data mohou být následně sdílena s vozidly v reálném čase.
 - Připojení aktorů na dopravní infrastrukturu (SSZ, výhybky, závary apod.) umožňují efektivně informovat uživatele a ovlivňovat dopravní proud.
4. Mapování a lokalizační systémy
 - Přesné mapy s vysokým rozlišením, GPS a další lokalizační technologie jsou nutné pro správné fungování C-ITS. Tyto technologie zajišťují, že vozidla přesně vědí, kde se nacházejí a mohou reagovat na změny v dopravní situaci.

Systém C-ITS je standardizován a vzrůstá jeho využití nejen jako technologie pro autonomní vozidla. C-ITS postupně začíná být využíváno ve velkých městech k optimalizaci dopravního toku, snížení emisí, ke zvýšení

informovanosti řidičů, zvýšení efektivity parkování apod. Mezi města, která začala na své infrastrukturu budovat systém C-ITS, patří například Frankfurt, Brno, Vídeň, Singapur nebo Tokyo. Zároveň Německý automobilový koncern Volkswagen začal do svých vozidel modelové řady Golf od roku 2021 implementovat C-ITS jednotky do základní výbavy. Města také spolu s infrastrukturou začala osazovat svá vozidla městské hromadné dopravy, ve kterých jsou mimo jiné tato zařízení využívána k žádosti o preferenci na světelné křižovatce. Mimo vozidla MHD jsou technologií C-ITS v řadě měst osazována také vozidla IZS, která mohou pomocí C-ITS technologie žádat o absolutní prioritu na světelných křižovatkách a varovat uživatele před svou jízdou a zásahem.

Detektory

Detektory na dopravní infrastrukturu hrají klíčovou roli při zajišťování bezpečnosti, efektivity a plynulosti dopravy v prostředí, kde se pohybují autonomní vozidla. Slouží ke sběru dat o dopravní situaci a poskytování informací, které autonomní vozidla využívají pro navigaci, detekci překážek a komunikaci s okolní infrastrukturou.

Hlavní účely detektorů v podpoře provozu autonomních vozidel zahrnují:

1. Monitorování provozu
 - Zajišťují informace o počtu a rychlosti jednotlivých vozidel, hustotě dopravy a detekci případných mimořádností, kterými mohou být např. nehody nebo dopravní kongesce.
2. Zvýšení bezpečnosti
 - Detekce nebezpečných situací, jako jsou chodci, příp. fyzické překážky na vozovce, vozidla v kolizních směrech apod.
3. Podpora rozhodování autonomních vozidel
 - Zajišťují data pro autonomní systémy, která pomáhají s optimalizací jízdy a volby jízdního režimu, plánováním trasy, rozhodováním na křižovatkách – informováním o stavu SSZ apod.
4. Komunikace mezi infrastrukturou a vozidly
 - Kooperativní inteligentní dopravní systémy – V2X (Vehicle-to-Everything) - komunikace umožňují výměnu dat mezi vozidly a infrastrukturou – s řidiči světelně řízených křižovatek, výhybek TRAM tratí, senzory na křižovatkách, přechodech pro chodce, nebo přenos informací z dopravních řídicích center o aktuálním stavu dopravy, dopravních omezeních, nehodách, dopravním značení (PDZ, ZPI, ...), rizikových místech, aktuální sjízdnosti komunikací apod.

Autonomní technologie

V rámci této metodiky jsou klíčovými prvky pro autonomní mobilitu specifické technologie a datové parametry, které jsou nezbytné pro efektivní fungování autonomních vozidel. Vybírání technologií by mělo být orientováno na požadavky na dostupnost dat a čas přenosu. Externí systémy, které poskytují data autonomním vozidlům, i když jsou doplňková, hrají zásadní roli. Autonomní vozidlo musí být schopno pokračovat v jízdě i při výpadku externího informačního systému, nebo bude schopno vzdáleně rozhodnout o dalším způsobu jízdy.

Zvláštní pozornost je věnována datům z externích systémů, která jsou nezbytná v určitých situacích, jako jsou řízení dopravy, signály volno/stůj na křižovatkách, omezení rychlosti a systémy stavění dopravní cesty (např. výhybky). V případě tramvají musí mít vozidla garantované informace o směru a připravenosti dopravní cesty, včetně zajištění stavu výhybek a jejich bezporuchovosti.

Metodika se zabývá definováním požadavků na technologie jak ve vozidlech, tak na infrastrukturu a v externích systémech. Specifikuje nezbytná data, která tyto systémy musí poskytovat, a zdůrazňuje důležitost odpovědnosti za provoz autonomního vozidla a za škody způsobené nehodami.

Pro minimalizaci rizika kolizí a zajištění bezpečného a ekonomického provozu autonomních vozidel je klíčové monitorovat aktuální dění před vozidlem a efektivně vyhodnocovat získaná data. Klíčovými prvky dopravního systému, které musí být sledovány, jsou:

- Prvky na infrastrukturu,
- Vozidla,
- Uživatelé,
- Centrální prvky systému.

Specifické technologie, které jsou pro detekci relevantních dat a jejich následné vyhodnocování zásadní, zahrnují:

- LIDAR,
- Kamera,
- Termokamera,
- Radar,
- Infračervený detektor,
- PIR čidlo,
- C-ITS,
- Meteo hláška,
- Čidla hladiny,
- Antikolizní systém.

Na základě hlubší analýzy výše uvedených technologií a zároveň v rámci požadavku na schopnost technologií poskytovat relevantní informace o detekovaných objektech do mapových podkladů v 3D prostoru se jeví jako nejvhodnější využití technologií, které představují:

- LIDAR,
- Kamera,
- C-ITS,
- Radar.

Mobilní mapování

Mobilní mapování se primárně využívá pro tvorbu HD map a digitálních dvojčat (DD), které slouží pro přesnou reprezentaci prostoru. Autonomní vozidla vyžadují prostorová data s vysokou spolehlivostí a přesností na úrovni geodetického měření. Pro získání takto kvalitních dat je nejrychlejším a nejpresnějším řešením využití technologie mobilního mapování, které umožňuje rychle a efektivně sbírat data v terénu s velmi vysokou mírou přesnosti.

Mobilní mapování je proces shromažďování geoprostorových dat z mobilního multisenzorového systému, který se skládá ze tří komponent:

- mapovací senzory (kamery, lidary),
- navigační /poziční senzory (IMU/GNSS),

- řídicí jednotka (synchronizace a integrace získaných geometrických/polohových informací).

Všechny senzory jsou integrovány na pevné platformě, kterou lze umístit na různé dopravní prostředky (auto, vlak, loď, ...)

Pozemní mobilní laserové skenery umístěné na automobilu představují nejlepší a nákladově efektivní řešení pro snímání 3D mračna bodů městských oblastí s vysokou rychlostí záznamu, hustotou a přesností bodů.

3 Legislativa

Městská mobilita s využitím autonomního řízení nepředstavuje pouze technické výzvy. Zcela zásadní oblastí, kterou se musíme zabývat, je právní regulace a soulad technických prostředků se standardy.

Stupně automatizace kolejových vozidel, tzv. GoA (Grade of Automation), definuje norma ČSN EN 62290-1 Drážní zařízení – Systémy řízení městské dopravy s vyhrazenou vodící dráhou – Část 1: Systémové principy a základní pojmy. Současně jsou v této normě definovány požadavky na funkci, systém a rozhraní pro systémy řízení, které se mají používat na tratích a v sítích městské osobní dopravy s vyhrazenou vodící dráhou. Tento soubor norem neplatí pro tratě, které jsou provozovány podle zvláštních drážních předpisů, pokud příslušný kompetentní úřad nestanoví jinak.

Obr. 3: Stupně automatizace kolejových vozidel dle normy ČSN EN 62290-1

Základní funkce provozu vlaku		Provoz vlaku podle rozhledu	Neautomatizovaný provoz vlaku	Poloautomatizovaný provoz vlaku	Provoz vlaku bez strojvedoucího/řidiče	Provoz vlaku bez obsluhy
		GOA0	GOA1	GOA2	GOA3	GOA4
Zajištění bezpečného pohybu vlaku	Zajištění bezpečné jízdní cesty	x (řízení výhybek v systému)	systém	systém	systém	systém
	Zajištění bezpečného rozestupu vlaků	x	systém	systém	systém	systém
	Zajištění bezpečné rychlosti	x	x (částečný dohled prováděný systémem)	systém	systém	systém
Řízení vlaku	Řízení zrychlování a brzdění	x	x	systém	systém	systém
Dohled nad vodící dráhou	Zabránění střetu s překážkami	x	x	x	systém	systém
	Zabránění střetu s osobami na kolejích	x	x	x	systém	systém
Dohled nad pohybem cestujících	Ovládání dveří pro cestující	x	x	x	x	systém
	Zabránění úrazů osob mezi vozy nebo mezi nástupištem a vlakem	x	x	x	x	systém
	Zajištění podmínek bezpečného rozjezdu	x	x	x	x	systém
Provozování vlaku	Uvádění vlaku do provozu a odstavování z provozu	x	x	x	x	systém
	Dohled nad stavem vlaku	x	x	x	x	systém
Zajištění detekce a řešení nouzových situací	Detekce ohně/kouře a detekce vykojení, detekce roztržení vlaku, reakce na signalizaci cestujících (hlášení/evakuace, dohled)	x	x	x	x	systém a/nebo personál v OCC
POZNÁMKA		x = odpovídá provozní personál (může být provedeno prostřednictvím UGTMS) systém = musí být provedeno prostřednictvím UGTMS				

Právní regulace drážní dopravy je založena zákonem o drahách, který se vztahuje na železniční a drážní dopravu, včetně tramvajového provozu, a upravuje otázky bezpečnosti, provozování dráhy a práva a povinnosti provozovatelů. S ohledem na provoz tramvají v běžném městském prostředí, kdy tramvaj je součástí silničního provozu, nesmíme opomenout ani zákon o provozu na pozemních komunikacích, který stanovuje pravidla silničního provozu, vztahující se i na tramvajovou dopravu, včetně pravidel pro průjezdy tramvajových tratí a jejich souvisejících zařízení. Součástí právní regulace jsou rovněž prováděcí vyhlášky, tj. dopravní řád drah, stavební a technický řád drah a vyhláška o drážní dopravě.

Automatizovaný provoz kolejových vozidel je dle současné právní úpravy umožněn pouze pro tzv. dráhu speciální, která slouží zejména k zabezpečení dopravní obslužnosti obce dle § 3 odst. 1 písm. f) zákona o drahách, což v ČR představuje metro.

V § 35 odst. 1 písm. d) zákona o drahách je jednou z povinností dopravce:

„Zajistit, aby drážní vozidla na dráze tramvajové, trolejbusové, speciální, lanové, místní a vlečce řídily osoby, které mají platný průkaz způsobilosti k řízení drážního vozidla; tato povinnost se nevztahuje na dráhu speciální

při automatickém provozu, kdy je drážní vozidlo řízeno technickým systémem bez přítomnosti osoby řídící drážní vozidlo.“

Dále je automatický provoz zmíněn v § 45 odst. 1, kde jsou specifikovány povinnosti při řízení drážního vozidla:

„Řídit drážní vozidlo na dráze místní, tramvajové, trolejbusové, speciální nebo lanové anebo na vlečce mohou jen osoby s platným průkazem způsobilosti k řízení drážního vozidla nebo s platnou licencí strojvedoucího, jde-li o dráhu místní nebo vlečku; tato povinnost se nevztahuje na dráhu speciální při automatickém provozu, kdy je drážní vozidlo řízeno technickým systémem bez přítomnosti osoby řídící drážní vozidlo.“

Dopravní řád drah stanovuje v § 27 odst. 3 písm. c), že:

„Jízda vlaků pro přepravu cestujících musí být řízena technickým systémem pro automatický provoz.“

Přičemž podle § 27 odst. 8 odst. 1 je stanoveno, že:

„Při provozování dráhy speciální musí být stanoveny jednotné technologické postupy pro automatický provoz bez přítomnosti osoby řídící drážní vozidlo.“

Zároveň v § 26 odst. 5) dopravní řád drah řeší problematiku návěstidel, a to:

„Každé zhaslé návěstidlo, pokud není označeno za neplatné, nebo není zhaslé vlivem činnosti zabezpečovacího zařízení, má význam nejzávažnější návěsti, kterou může toto návěstidlo návěstit. Při automatickém provozu bez přítomnosti osoby řídící drážní vozidlo mohou být pro jízdu drážního vozidla návěstidla zhaslá a nemusí být označena za neplatná.“

U jiných typů drážní dopravy v současné době není automatizovaný provoz legislativně možný, proto je nutné do budoucna řešit i právní regulaci tramvajového provozu s využitím autonomních technologií, zejména pro GoA 3 a 4, kde již není předpokládána přítomnost řidiče.

V případě GoA 1 a 2 je řidič stále přítomný ve vozidle a je tak podle současné právní úpravy plně zodpovědný za vozidlo a jeho provoz, což je mj. zakotveno v § 5 zákona o provozu na pozemních komunikacích, podle kterého má řidič povinnost:

- Řídit dopravní prostředek v souladu s pravidly silničního provozu.
- Dbát na bezpečnost silničního provozu, chránit životy a zdraví osob a majetek.
- Zdržet se jednání, které by mohlo ohrozit bezpečnost provozu.
- Umožnit ostatním účastníkům silničního provozu bezpečně se pohybovat na pozemních komunikacích.

Odpovědnost řidiče se vztahuje nejen na dodržování pravidel silničního provozu, ale také na následky porušování těchto pravidel. Řidič může být odpovědný za přestupky a také za škody, které způsobí v případě nehody.

Z výše uvedeného je však patrné, že pro provoz tramvají GoA 3 a vyšší je současná právní úprava nedostatečná a bude nutné přijmout odpovídající legislativní úpravy, která by zohledňovala specifika provozu autonomních vozidel na pozemních komunikacích, mj.:

- odlišný způsob fungování autonomního vozidla a s tím spojená nutnost např. aktualizace SW, zákaz zasahování do systému autonomního řízení atp.,
- možnost ovládat vozidlo zevnitř i vně vozidla a z toho plynoucí nové povinnosti kladené na řidiče, operátora a provozovatele vozidla,
- nutnost zajištění minimálních technických parametrů pozemních komunikací a jejich technologického vybavení.

3.1 Legislativní rámec pro autonomní dopravu, ochranu osobních údajů a kybernetickou bezpečnost

Detailní doporučení na úpravu právního řádu ČR pro právně konformní provoz vozidel s prvky autonomního řízení je možné najít např. ve studii Návrh úpravy jednotlivých právních institutů a aspektů platných v České republice relevantních pro zavádění vozidel od stupně automatizace SAE 3 a výše do provozu a zajištění jejich provozu, kterou pro Ministerstvo dopravy v roce 2022 zpracovalo řešitelské konsorcium Fakulta dopravní ČVUT v Praze, Ústav státu a práva AV ČR v.v.i. a White & Case, s.r.o., advokátní kancelář.

Problematikou, která by neměla být v rámci zavádění mobilních služeb s prvky autonomie v městských aglomeracích, které zpracovávají velké množství dopravních dat a informací, je nutné se vypořádat také s problematikou ochrany osobních údajů a ochrany soukromí subjektů a jejich údajů, neboť některé zpracovávané a uchovávané informace mohou mít charakter osobních údajů a podléhají tak evropské regulaci dle nařízení GDPR (z angl. ekvivalentu General Data Protection Regulation), které definuje v čl. 4 odst. 1 osobní údaje jako:

„Veškeré informace o nebo identifikovatelné fyzické osobě (dále jen „subjekt údajů“); identifikovatelnou fyzickou osobou je fyzická osoba, kterou lze přímo či nepřímo identifikovat, zejména odkazem na určitý identifikátor, například jméno, identifikační číslo, lokační údaje, síťový identifikátor nebo na jeden či více zvláštních prvků fyzické, fyziologické, genetické, psychické, ekonomické, kulturní nebo společenské identity této fyzické osoby.“

Pakliže provozovatel zpracovává osobní údaje (součástí zpracování osobních údajů je rovněž jejich uchování), stává se správcem osobních údajů a je tak povinen se podřídit regulaci stanovenou Nařízením GDPR, což mj. znamená splnění stanovených povinností, např.:

1. Stanovit účel, za jakým mají být osobní údaje zpracovávány (v případě DIC by se mohlo jednat např. o shromažďování dopravních dat a informací za účelem zvýšení bezpečnosti silničního provozu a informování jeho účastníků).
2. Stanovit právní titul zpracování osobních údajů dle článku 6 Nařízení GDPR, přičemž zpracovávat osobní údaje je možné pouze při existenci alespoň jednoho z taxativně vyjmenovaných právních titulů.
3. Provést posouzení dopadu zpracování na ochranu osobních údajů, tzv. DPIA (z angl. ekvivalentu Data Privacy Impact Assessment), neboť s vysokou pravděpodobností bude splněna podmínka dle čl. 35 odst. 3 písm. c) Nařízení GDPR a bude docházet k „systematickému monitorování veřejně přístupných prostorů“ při sběru dopravních dat a informací. Součástí je mj. popsání rozsahu sběru osobních údajů a způsobu jejich zpracování, včetně uchování atd.
4. Implementovat příslušná technická a organizační opatření, vycházející z výsledků provedené DPIA, jejichž cílem je eliminace identifikovaných rizik (např. úniku osobních údajů atp.).
5. vést v souladu s čl. 30 Nařízení GDPR písemné záznamy o všech zpracováních osobních údajů.

6. Ohlašovat případ narušení bezpečnosti osobních údajů (tzv. data breaches) dozorovému orgánu (v ČR zajišťuje dozor Úřad pro ochranu osobních údajů).
7. A další opatření, která jednoznačně vyplývají z Nařízení GDPR a prováděcích předpisů.

Pro efektivní posouzení, zda dochází ke zpracovávání osobních údajů či k nastavení vhodných technických a organizačních opatření, existuje mnoho metodických postupů, které mohou vývojáři a provozovatelé dopravních řešení s prvky autonomního řízení využít. V neposlední řadě nelze opomenout ani oblast kybernetické bezpečnosti, která představuje zásadní výzvu před uvedením moderních systémů s prvky autonomního řízení do provozu. Klíčovými parametry dopravních systémů jsou integrita a důvěryhodnost, jejichž případné narušení může znamenat fatální dopady. I to je jeden z důvodů, proč je doprava zařazena v rámci právní regulace kybernetické bezpečnosti jako jedna ze základních služeb, jejíž poskytování je závislé na sítích elektronických komunikací nebo informačních systémech a jejíž narušení by mohlo mít významný dopad na zabezpečení společenských nebo ekonomických činností. Právní regulace, vycházející z evropského práva, ukládá tzv. povinným osobám, v tomto případě provozovatelům informačních systémů kritické informační infrastruktury, významných informačních systémů a informačních systémů základní služby, povinnosti, jak zajistit odpovídající úroveň kybernetické bezpečnosti stanovené v příslušné prováděcí vyhlášce. Zejména se jedná o zavedení technických, organizačních a procesních opatření, které umožní včasnou detekci kybernetických bezpečnostních incidentů, resp. událostí a adekvátní reakci na ně. Vzhledem k narůstajícím kybernetickým rizikům byla na úrovni EU přijata nová směrnice NIS 2, která mj. rozšiřuje skupinu povinných osob a ukládá jim povinnosti zavádění opatření s cílem kybernetická rizika eliminovat. Všechny povinné osoby, resp. oblasti, které do této regulace spadají, jsou uvedeny v Příloze I směrnice NIS 2. V oblasti dopravy budou do regulace spadat mj. silniční orgány odpovědné za plánování, kontrolu a správu silnic spadajících do jejich územní působnosti a poskytovatelé služeb ITS.

4 Vozidlové technologie

Technologické vybavení vozidel hraje klíčovou roli v autonomním řízení a bezpečnosti provozu. Mezi hlavní možnosti vybavení patří například antikolizní systémy, HD mapy a C-ITS OBU (On-Board Unit). Tyto technologie umožňují vozidlům detekovat překážky, navigovat s vysokou přesností a komunikovat s okolní infrastrukturou i dalšími vozidly. V této kapitole budou podrobně popsány jednotlivé technologie a jejich minimální kvalitativní parametry, které jsou nezbytné pro zajištění spolehlivého a bezpečného provozu autonomních vozidel.

Antikolizní systém

Definování velmi přesného 3D průjezdného profilu je klíčovým aspektem antikolizního systému. Tento princip je obecný a lze jej aplikovat na různá vozidla, včetně kolejových. V případě kolejových vozidel, jejichž pohyb je striktně vymezen kolejištěm, je kladen zvýšený důraz na přesnost a spolehlivost systému. Tento systém vyhodnocuje přítomnost cizích objektů ve vymezeném koridoru a možnost vzájemné kolize na základě známé trajektorie pohybu. Na rozdíl od nekolejových vozidel, která mohou překážku snadno objet, je pohyb kolejových vozidel značně omezen, resp. vymezen. Tato skutečnost vyžaduje, aby byl tento systém mimořádně přesný a spolehlivý. Musí být schopen rozlišit objekty uvnitř a vně průjezdného profilu ideálně s přesností v jednotkách centimetrů, aby nedocházelo k zbytečnému brzdění v případech, kdy jsou objekty těsně mimo jízdní profil.

Pro funkční antikolizní systémy lze využít různá technická a technologická řešení. Níže jsou popsána obecná a nejrozšířenější řešení, která se na trhu vyskytují.

Využitá čidla a zařízení:

- GNSS modul,
- Výpočetní jednotka,
- Radar,
- Lidar,
- Kamera,
- IMU jednotka,
- Odometrie,
- CITS technika.

Tato zařízení se různě kombinují a jejich konfigurace se liší podle výrobce. Každý výrobce se zaměřuje na jinou kombinaci výše uvedených senzorů. Zároveň je nutné uvést, že každé čidlo má jisté výhody a nevýhody či specifika. To je primární důvod pro používání kombinací výše uvedených technologií.

Obecný popis systémů: Úrovně antikolizních systémů a autonomní mobility obecně se vyvíjejí na celém světě a počet přístupů, využitých systémů a úrovně bezpečnosti celého systému jsou různé. Určité prvky jsou ovšem vždy stejné, i když řešené různým přístupem.

Senzorická sada: Nejčastěji využívané senzory pro detekci překážek jsou radar, lidar a kamera. Tyto čidla mohou být použita jak samostatně, tak v kombinaci s dalšími senzory. Všechna tato čidla jsou ovlivňována povětrnostními podmínkami a výrobce by měl deklarovat kvalitu senzorů při zhoršených povětrnostních podmínkách jako je hustý déšť, mlha nebo sněžení.

Lokalizace: Prvotní informace o lokalizaci a pohybu většinou pocházejí od GNSS jednotky a odometrie, i když existují i odlišné přístupy. Dále pak probíhá lokalizace na základě lidarových dat či průběžné informace o identifikaci kolejí a jejich průběhu, kterou provádí kamera. Tyto systémy se také dají krátkodobě nahradit odometrií a IMU jednotkou. Lokalizace může probíhat jak vzhledem k mapě vytvořené senzorem, tak vzhledem k aktuálním kolejím, které průběžně identifikuje.

Identifikace překážek: Identifikace překážek probíhá vždy dle senzoru, který identifikaci provádí. I když zde nebudeme provádět detailní rozbor identifikace jednotlivými čidly, obecně to můžeme shrnout následovně:

- **Lidar:** Používá laserové paprsky k měření vzdáleností a vytváření 3D map okolí. Překážky jsou identifikovány na základě odražených laserových paprsků. Podrobnější popis lze nalézt v kapitole 5.1.
- **Radar:** Vysílá rádiové vlny, které se odrážejí od objektů. Překážky jsou detekovány na základě změn v odražených signálech, což umožňuje měření vzdálenosti a rychlosti objektů.
- **Kamera:** Používá obrazové senzory k zachycení vizuálních informací. Překážky jsou identifikovány pomocí analýzy obrazů a rozpoznávání vzorů.

Všechny tyto technologie prochází neustálým vývojem, i tak je nutné si uvědomit, že míra útlumu signálu, šum v obraze a další faktory vždy ovlivňují výstupní informace, což může způsobit zhoršení kvality při zhoršených klimatických podmínkách. Obecně ovšem platí, že v současné době všechna tato čidla dávají dostatečně kvalitní informace ve většině běžných situací a pro asistenční systém řidiče jsou více než užitečná.

Predikce pohybu: Predikce pohybu je extrémně složitá úloha, která se nejčastěji zjednodušuje idealizováním výstupních parametrů a zaměřením se pouze na velice úzkou část celého obrazu, standardně průjezdný profil případně na jeho blízké okolí. Tato funkcionality není nezbytná, avšak velice užitečná hlavně u komplexnějších systémů dosahujících lepší kvality. Predikce pohybu se následně většinou zjednodušuje myšlenkou, že pokud má pohybující se objekt nějakou rychlost, zrychlení a trajektorii, bude mít stejné parametry i v následujících okamžicích.

Falešně pozitivní varování: Jedním z hlavních požadavků na všechny antikolizní systémy a autonomní dopravu obecně je minimalizace či úplné odstranění falešně pozitivních varování, která způsobují zmatení řidičů a nedůvěru k systémům, případně aktivaci brzd v nesprávné okamžiky. Pro správnou identifikaci potenciální kolize je nezbytná správná lokalizace vozidla vůči trati, kterou vozidlo projíždí a v nejbližší budoucnosti projíždět bude. Zároveň je nutné dokázat rozlišit překážku v průjezdném profilu tramvaje a překážku, která je těsně mimo průjezdný profil.

Další klíčová vlastnost je správná identifikace překážky. Překážku je nutné identifikovat jak statickou, tak dynamickou, jak vedle koleje, tak na zemi. Systém musí být stabilní a nevarovat na okolní porost či různé stíny, oblaka prachu, výfukové zplodiny, kouř nebo změnu povětrnostních podmínek. Tato úloha, i když se tak nemusí na první pohled zdát, je velice složitá a zatím s určitou mírou nepřesnosti trpí všechny používané antikolizní systémy. Vždy je důležité, aby si zákazník definoval spolu s výrobcem maximální míru akceptovatelnosti falešně pozitivních signálů, a to následně testoval na své vlastní trati.

Způsob vývoje a integrita bezpečnosti: V současné době jsou asistenční systémy vyráběny se základní integritou bezpečnosti. Tato úroveň je dostačující pro asistenční systémy řidiče, které jej nenahrazují, ale pouze poskytují doplňující informace.

V městském provozu tramvají na úrovních automatizace GoA 1 a GoA 2, kde je řidič plně zodpovědný za vozidlo a systém pouze pomáhá, je zpravidla požadován stupeň bezpečnosti SIL 1 nebo SIL 2. S rostoucí úrovní automatizace, kdy má systém řidiče částečně nebo plně nahradit (GoA 3 a GoA 4), se však vyžaduje vyšší stupeň bezpečnosti, přičemž pro plně autonomní provoz je nezbytné SIL 3 nebo SIL 4.

V železničním provozu jsou bezpečnostní standardy ještě přísnější – pro provoz bez přímé lidské kontroly je SIL 4 striktně vyžadován jako základní úroveň bezpečnostní integrity.

Předcházení nehodám – varování a aktivace brzdné soustavy:

- **Varování:**
 - Varování může být kombinací vizuálního, akustického případně haptického signálu.
 - Obecně doporučované je primárně akustické varování a to tónem, který je velice specifický a jinak se v kabině řidiče nedá zaměnit s jiným zdrojem zvuku.
- **Aktivní brzda:**
 - Antikolizní systém může fungovat tak, že nejprve varuje řidiče před potenciální kolizí a následně, pokud řidič nijak nereaguje, může zahájit brzdový manévr. Dle hloubky integrace antikolizního systému do řízení vozidla je umožněno buď nouzové brzdění, nebo kombinace provozní a nouzové brzdy.

5 Technologie na infrastruktuře

5.1 Senzory

K zachycení aktuální situace lze využít celou řadu senzorů využívajících různé technologie detekce. Volba detektoru je pak závislá na druhu požadovaného jevu/události, kterou chceme detekovat. Níže uvedený výčet technologií tedy není konečný, ale jsou uvedeny nejčastěji využívané technologie.

Nejčastěji využívanými typy detektorů na dopravní infrastrukturu jsou:

1. LIDAR (Light Detection and Ranging)
 - Měří vzdálenosti pomocí laserových paprsků a poskytuje vysoce přesná 3D data o prostředí.
 - Používá se pro detekci překážek, sledování pohybu vozidel i chodců a mapování okolí.
 - Vhodný pro přesné měření vzdáleností a vytvoření detailních modelů okolního prostředí.
 - Nevýhodou technologie je zejména omezení detekce za nepříznivého počasí, a výše pořizovacích nákladů.
2. Radarové detektory
 - Využívají rádiové vlny k detekci pohybujících se objektů.
 - Využívány ke sledování rychlosti a směru vozidel, mohou fungovat za různých povětrnostních podmínek.
 - Používají se na křižovatkách, dálnicích nebo v nebezpečných zónách.
 - Nevýhodou technologie může být zejména nemožnost rozlišovat typy objektů, horší detekce malých objektů
3. Kamerové systémy (optické detektory)
 - Kamery poskytují vizuální informace o dopravě, jako jsou videa a snímky.
 - Umožňují analýzu vizuálních dat pomocí umělé inteligence (AI) i dalších nástrojů pro detekci vozidel, chodců, dopravního značení nebo jízdních pruhů.
 - Jedná se velmi univerzální senzor používající se často na křižovatkách, přechodech pro chodce, rizikových lokalitách nebo v tunelech.
 - Nevýhodou technologie je zejména špatná funkce za zhoršených povětrnostních podmínek
4. Infrakamery (termální kamery)
 - Detekují teplo vyzařované objekty, což umožňuje sledovat vozidla i v noci nebo za špatné viditelnosti.
 - Vhodné pro noční detekci
 - Nevýhodou technologie je zejména nízká rozlišovací schopnost (detaily), citlivost na teplotní rozdíly, nízká využitelnost ve dne a omezení funkčnosti při špatných povětrnostních podmínkách (hustý déšť a mlha).
5. Indukční smyčky
 - Zařezávají se do povrchu komunikace (intruzivní detektor), kdy měří změny magnetického pole země způsobené průjezdem vozidel nad detektorem.
 - Detekují přítomnost, rychlost a počet projíždějících vozidel, možnost kategorizace vozidel.
 - Jsou velmi spolehlivé
 - Technologie vyžadují instalaci přímo do vozovky a zásah do povrchu.

6. Magnetometry

- Umisťují se zpravidla do vývrtu do povrchu komunikace, kdy měří změny magnetického pole země způsobené průjezdem vozidel nad detektorem.
- Mohou detekovat přítomnost/přejez, rychlost a počet projíždějících vozidel, zpravidla pro účely sledování obsazenosti parkovišť.
- Jsou napájeny interní baterií s životností několik let, pro komunikaci využívají zpravidla IoT sítě (LoRa, Sigfox,...)
 - Technologie vyžadují instalaci přímo do vozovky a zásah do povrchu.

7. Ultrazvukové detektory

- Vysílají zvukové vlny a měří čas, za který se zvuková vlna odrazí od objektu zpět do detektoru.
- Používají se pro detekci překážek v těsné blízkosti (např. na parkovištích).
 - Omezená využitelnost vzhledem k dosahu detekce

8. Senzory kvality ovzduší a povětrnostních podmínek

- Měří kvalitu vzduchu, jeho teplotu, vlhkost, stav povrchu vozovky (např. zda je zledovatělý) nebo viditelnost.
- Využívá se většinou „meteostanic“ kombinující více detektorů pro jednotlivé měřené veličiny

9. V2X komunikace (Vehicle-to-Everything):

- Komunikace mezi vozidly a infrastrukturou prostřednictvím bezdrátových technologií (ITS-G5, LTE/5G).
- Umožňuje sdílení informací o aktuálním stavu dopravy, stavu SSZ na křižovatkách, nehodách, rizikových lokalitách, pohybu a zásahu IZS a dalších informacích.
- Jednotky systému OBU/RSU slouží jako zdroj dat o dopravním proudu, RSU mohou být zdrojem dat sčítání dopravy, C-ITS - BO může provádět analýzy pohybu OBU po dopravní síti – obdoba FCD
- Slouží jako datová platforma pro sběr dat z detektorů na infrastruktuře

6 Centrální prvky

6.1 C-ITS Back Office

C-ITS Back Office je centrální stanicí kooperativního systému, který umožňuje výměnu informací vozidel mezi sebou a mezi vozidly a infrastrukturou.

C-ITS Back Office plní zejména funkce:

- Koncentruje a zpracovává většinu dat ze C-ITS systému.
- Distribuuje data do prvků na nižších úrovních systému (RSU, OBU, mobilní aplikace) dle jasných pravidel.
- Zajišťuje komunikaci s dalšími externími systémy (např. informační zdroji, integrační platformou, DD, řídicí a dopravní centra/dispečinky).
- Poskytuje základ pro vizualizace a mapy (poloha událostí a zařízení, náhled z detekčních kamer).
- Zajišťuje manuální vytváření událostí (resp. C-ITS zpráv včetně jejich podpisu).
- Automaticky generuje C-ITS zprávy na základě dat z externích systémů a detektorů.
- Umožňuje sledovat provozní stav zařízení a jejich správu.
- Umožňuje uživatelský management, archivaci a další související funkce.

Komplexní popis jednotlivých vlastností a funkcí C-ITS Back Office je uveden v dokumentech C – Roads.

C-ITS BO může být pro potřeby autonomního řízení rozšiřován o funkce, které umožňují podporu rozhodování autonomních vozidel o způsobu jízdy. Jedná se zejména o integraci dat z detektorů na infrastrukturu a ve vozidlech, jejich vyhodnocení v reálném čase a poskytování uživatelům a DD.

6.2 Digitální dvojče

Digitální dvojče (dále jen DD) mobility je koncept, který integruje různé zdroje dopravních dat včetně HD map. Tyto mapy tvoří jednu z klíčových součástí DD, neboť poskytují detailní prostorovou reprezentaci dopravního prostředí.

DD se zaměřuje na shromažďování a analýzu dynamických událostí spojených s městskou mobilitou. Jeho hlavním cílem je koncentrovat veškeré dění a data v reálném čase a poskytovat/ukládat je na jednom místě v aktuální nebo historické podobě pro další aplikace.

V simulačních nástrojích pak pomocí dat z DD lze vytvářet simulace, analyzovat dopravní toky, identifikovat úzká hrdla a na základě toho navrhnout kroky ke zlepšení infrastruktury či řízení dopravy. Spojením těchto dvou technologií vzniká komplexní a dynamický nástroj pro rozvoj autonomní mobility a chytrých měst.

Využití Digitálního dvojče

Samotný koncept má několik využití:

- Uchovávání dat:
 - Dopravní senzory,
 - Geografické informační systémy,

- Data z veřejných služeb.
- Rekonstrukce dějů:
 - Analýza dopravních nehod,
 - Historie dopravních změn,
 - Incidenty a poruchy.
- Zdroj dat pro simulace:
 - Modelování budoucích dopravních scénářů,
 - Simulace krizových situací,
 - Predikce dopravních toků.
- Analýza problémů:
 - Identifikace dopravních úzkých hrdel,
 - Optimalizace veřejné dopravy,
 - Řešení problémů s parkováním.

Uchovávání dat

Uchovávání dat v DD zahrnuje shromažďování, integraci a správu obrovského množství informací pocházejících z různých zdrojů. Tyto zdroje poskytují data, která se vzájemně doplňují a umožňují vytvořit co nejpřesnější a nejaktuálnější digitální reprezentaci fyzického světa.

Možné zdroje dat:

- **Dopravní senzory:**
 - Data z kamer, radarů,
 - Dopravní senzory a zařízení (výhybky),
 - Signalizačních zařízení (semaforey).
- **Geografické informační systémy (GIS):**
 - Mapová Data (OSM),
 - Satelitní snímky,
 - DTM.
- **Data z veřejných služeb:**
 - Veřejná doprava,
 - Dopravní události,
 - FCD (Floating car data),
 - Meteorologická data.

Rekonstrukce dějů

Data s časovým záznamem mohou být využita k rekonstrukci minulých událostí, incidentů a poruch, k analýze dopravních nehod a ke sledování změn v dopravním provozu.

Analýza dopravních nehod

V případě dopravních nehod může DD rekonstruovat přesný průběh událostí. Uchovává data o pohybu vozidel, signálech světelného signalizačního zařízení, viditelnosti, počasí a dalších faktorech, které mohly ovlivnit nehodu.

Historie dopravních změn

DD umožňuje zpětnou analýzu změn v dopravních vzorcích, jako jsou důsledky uzavírek, změny v trasách veřejné dopravy nebo zavedení nových dopravních opatření. To pomáhá městu vyhodnotit, jak tyto změny ovlivnily celkovou dopravní situaci.

Incidenty a poruchy

Pokud dojde k poruše v dopravním systému, například k výpadku semaforu nebo selhání signalizačního zařízení, DD umožní zpětnou analýzu příčiny problému a průběhu jeho řešení.

Zdroj dat pro simulace

Data z DD mohou představovat klíčový zdroj informací pro modelování, simulace a predikce dopravních situací.

Modelování budoucích dopravních scénářů

DD slouží jako zdroj dat pro simulaci různých scénářů, jako jsou změny v dopravní infrastruktuře, zavedení nových tras veřejné dopravy nebo dopad velkých událostí na dopravu. To umožňuje plánování a optimalizaci s ohledem na budoucí potřeby.

Simulace krizových situací

Města mohou využít DD k simulaci krizových situací, jako jsou přírodní katastrofy, masivní dopravní zácpy nebo nehody s vysokým počtem účastníků. Tyto simulace pomáhají lépe připravit nouzové plány a zlepšit reakci na skutečné události.

Predikce dopravních toků

Na základě historických dat a aktuálních podmínek může DD předpovídat budoucí dopravní toky a identifikovat potenciální zácpy či problémové oblasti. Tato predikce umožňuje optimalizovat řízení dopravy a minimalizovat zpoždění.

Analýza problémů

Digitální dvojče podporuje analýzu aktuálních dopravních situací, optimalizaci veřejné dopravy a řešení problémů souvisejících s parkováním.

Identifikace dopravních úzkých hrdel

DD umožňuje analýzu míst, kde dochází k pravidelným dopravním zácpám nebo zpomalením. Na základě této analýzy mohou městské úřady navrhnout opatření ke zlepšení plynulosti dopravy, jako je rozšíření silnic nebo úprava semaforů.

Optimalizace veřejné dopravy

Pomocí dat z DD lze analyzovat efektivitu veřejné dopravy, včetně přesnosti jízdních řádů, vytížení jednotlivých linek a čekacích dob. To umožňuje optimalizovat trasy a frekvence spojů, aby lépe odpovídaly potřebám obyvatel.

Řešení problémů s parkováním

DD může pomoci analyzovat problémy s parkováním v různých částech města, identifikovat oblasti s nedostatkem parkovacích míst a navrhnout řešení, jako je výstavba nových parkovišť nebo zavedení chytrých parkovacích systémů.

Parametry DD

Digitální dvojče funguje jako komplexní systém, který integruje, zobrazuje a ukládá data pro účely efektivního řízení městského prostředí nebo jiných komplexních systémů. V reálném čase by mělo být schopno agregovat a vizualizovat data o dopravních tocích, stavech silnic, semaforech, veřejné dopravě a parkovacích místech. Data by umožňovala simulaci různých dopravních scénářů, predikci dopravních zácp a detekci problémů, jako jsou nehody nebo poruchy infrastruktury. Rozhraní by mělo poskytovat přehledné dashboards a mapové vizualizace pro městské správce, kteří by na základě těchto informací mohli efektivně optimalizovat dopravní toky, procesy řízení dopravy a plánování údržby.

Pro fungování digitálního dvojčete je zásadní:

- Agregování dynamických dat,
- Datový sklad historických dat,
- Rozhraní pro poskytování aktuálních situací.

Agregování dynamických dat

Reálný čas a vysoká frekvence

DD musí být schopné v reálném čase agregovat data z různých dynamických zdrojů, jako jsou dopravní senzory, environmentální senzory, kamerové systémy, zařízení a systémy veřejné dopravy. Data jsou sbírána v krátkých časových intervalech a okamžitě integrována do systému.

Centralizace a integrace

Všechna dynamická data jsou centralizována v jednom systému, kde jsou integrována a zpracována. To zahrnuje synchronizaci dat z různých zdrojů, aby byla zajištěna jejich konzistence a přesnost.

Fúze dat

Systém fúze dat zajišťuje, že různá data, například z různých senzorů nebo systémů, jsou kombinována a poskytují celkový obraz situace. Například data z dopravních senzorů mohou být kombinována s daty z kamer, aby bylo možné lépe chápat dopravní toky a identifikovat problémy.

Datový sklad historických dat

Dlouhodobé ukládání

Historická data z dynamických i statických zdrojů jsou ukládána v datovém skladu, který umožňuje dlouhodobé uchovávání těchto dat. To zahrnuje záznamy o dopravních událostech, stavech infrastruktury, klimatických podmínkách a dalších relevantních informacích.

Indexování a archivace

Data jsou systematicky indexována a archivována tak, aby byla snadno přístupná pro budoucí analýzy. To umožňuje efektivní vyhledávání dat podle času, místa nebo typu události.

Historická analýza

Sklad historických dat umožňuje provádět analýzy trendů a retrospektivní studie, které mohou být klíčové pro prediktivní modelování a rozhodování. Například analýza historických dat o dopravních nehodách může odhalit dlouhodobé vzorce a pomoci při navrhování bezpečnostních opatření.

Rozhraní pro poskytování aktuálních situací

Uživatelská rozhraní

Digitální dvojče by mělo poskytovat uživatelsky přívětivá rozhraní, která umožňují správcům města, inženýrům, analytikům a dalším uživatelům snadný přístup k aktuálním informacím. Tato rozhraní mohou zahrnovat dashboards, mapové vizualizace, grafy a jiné interaktivní nástroje.

Real-time notifikace a varování

Systém by měl být schopen generovat notifikace a varování v reálném čase, pokud dojde k odchylkám od normálního stavu nebo k identifikaci potenciálního problému. Například v případě dopravní nehody nebo náhlého zhoršení kvality ovzduší může systém okamžitě upozornit příslušné orgány.

API a datové služby

DD může poskytovat data prostřednictvím API (Application Programming Interface), což umožňuje jejich integraci s jinými systémy nebo aplikacemi. Tímto způsobem mohou externí aplikace, jako jsou mobilní aplikace pro občany nebo analytické nástroje, získávat aktuální data a využívat je pro různé účely.

6.3 Dispečink dopravního podniku

Veškerá data z vozidla by měla být posílána přes definovaná rozhraní, která jsou popsána v rámci této metodiky, do centrálního bodu ve městě, který by měl být umístěn na dopravním podniku provozovatele autonomních dopravních prostředků. Nicméně město si může určit podle své strategie a schválené architektury umístění systémů pro řízení autonomních dopravních prostředků či dalších vozidel. Ačkoliv se systém pro autonomní mobilitu skládá z několika částí, je vhodné zvolit zabezpečenou centrální architekturu se samostatným serverovým řešením, na kterém budou uložena data potřebná pro sběr informací o provozu autonomních vozidel. Tento systém se neomezuje pouze na primární účely, jako je autonomní řízení a propojení s vlastními servery. Data lze dále využít pro sekundární účely, například pro monitorování provozu vozidel a řízení dopravních prostředků, s možností integrace do systému dopravního podniku nebo jako open data pro širší použití.

Při budování a propojení autonomního systému je nezbytné využívat nové přístupy, které zahrnují zabezpečenou komunikaci, odolnost vůči kybernetickým útokům a spolehlivé formáty dat. Připojení a popis systému by měly být přizpůsobeny místním podmínkám veřejné hromadné dopravy a měly by být zpracovány v rámci projektu, který vychází z komponent definovaných v této metodice. Rozhraní lze navrhnout pomocí REST API/HTTPS na vhodné sběrnici, jako je OPC UA, a data či informace přenášet v reálném čase za použití standardů JSON nebo XML.

7 Autonomní mobilita a HD mapy

Vývoj autonomní mobility a systémů ADAS se každým rokem výrazně posouvá kupředu. V současné době autonomní vozidla využívají širokou škálu senzorů, jako jsou lidary, kamery, radary a ultrazvukové senzory. Nicméně všechny tyto senzory mají své omezení, zejména v extrémních meteorologických podmínkách, jako jsou mlha, sníh nebo hustý déšť, kdy může docházet k omezení jejich funkčnosti, nebo mohou přestat fungovat úplně. Další potíže mohou například nastat v oblastech se slabým signálem GNSS, což může nepříznivě ovlivnit přesnost lokalizace vozidla. Částečným řešením těchto problémů je využití HD map, které slouží jako další "senzor". HD mapa poskytuje vozidlu detailní prostorové informace o prostředí, které může použít pro přesnou lokalizaci i v podmínkách, kdy ostatní senzory nebo GNSS selhávají, čímž zajišťuje bezpečnější a spolehlivější lokalizaci.

7.1 Využití HD map z pohledu autonomních vozidel

HD mapy, díky své schopnosti poskytovat detailní a přesné informace o silniční infrastruktuře a okolním prostředí, hrají klíčovou roli v provozu autonomních vozidlech. Jejich význam lze uplatnit hned v několika funkcích autonomní dopravy:

- **Přesná lokalizace.** HD mapy umožňují autonomním vozidlům určit jejich polohu na silnici s vysokou přesností, což je zásadní pro správnou navigaci a udržování v jízdním pruhu.
- **Doplňková funkce k senzorům.** HD mapy slouží jako doplněk k palubním senzorům, poskytují podrobné informace o okolí, které senzory samy o sobě nemusí vždy zachytit, a tím zlepšují celkovou bezpečnost a spolehlivost.
- **Sémantické porozumění.** HD mapy obsahují sémantické informace, které autonomním vozidlům umožňují lépe rozumět prostředí, identifikovat objekty a interpretovat dopravní značky, pravidla silničního provozu a kontextové podmínky.
- **Proaktivní aktivace senzorů.** Na základě informací z HD map mohou vozidla předem aktivovat potřebné senzory pro zvýšenou pozornost v kritických oblastech, jako jsou křižovatky nebo místa se sníženou viditelností.
- **Predikce chování.** HD mapy umožňují vozidlům předvídat potenciální nebezpečí a chování ostatních účastníků provozu, což je klíčové pro prevenci nehod a přizpůsobení jízdy aktuální situaci.
- **Optimalizace plánování trasy.** HD mapy pomáhají vozidlům plánovat neefektivnější trasu s ohledem na aktuální dopravní podmínky, pravidla a případné uzavírky, čímž zvyšují plynulost a efektivitu jízdy.

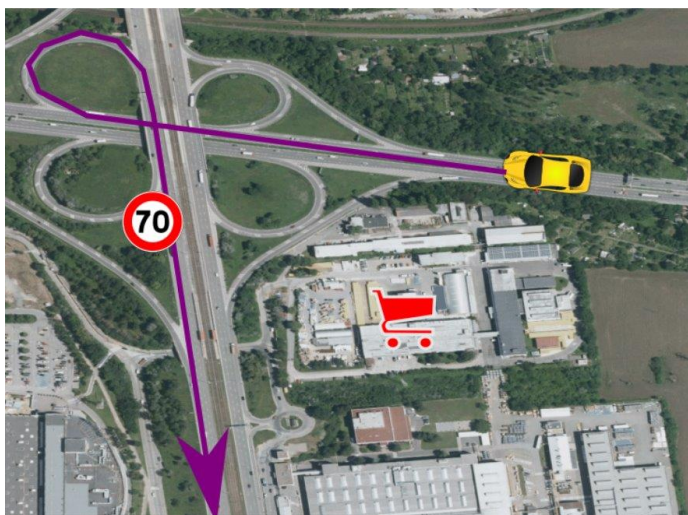
7.2 HD mapy v procesu rozhodování autonomních vozidel

HD mapy se využívají na různých úrovních rozhodování v autonomním řízení vozidel: strategické, taktické a operativní. Každá z těchto úrovní má specifické požadavky na informace, které HD mapy poskytují. Pomocí těchto map mohou vozidla lépe reagovat na složité dopravní situace.

Strategická úroveň řízení

Na této úrovni se jedná o dlouhodobé plánování cesty vozidla od výchozího bodu k cíli. HD mapy na strategické úrovni přispívají následovně:

- **Výběr optimální trasy:** HD mapy poskytují detailní informace o silniční síti, včetně typů silnic, rychlostních limitů, míst s omezeními (např. mosty s nízkým průjezdem) nebo oblastí s vysokým provozem. Na základě těchto údajů se může naplánovat nejeefektivnější a nejbezpečnější trasa.
- **Identifikace klíčových bodů zájmu (POI):** HD mapy obsahují informace o místech, jako jsou čerpací stanice, odpočívadla nebo nabíjecí stanice pro elektromobily, což je klíčové pro dlouhé trasy.
- **Predikce časových rámců:** Na základě podrobných mapových dat mohou být předpovězeny časy příjezdů do cíle s ohledem na typ silnic, povolenou rychlost, a očekávané podmínky.

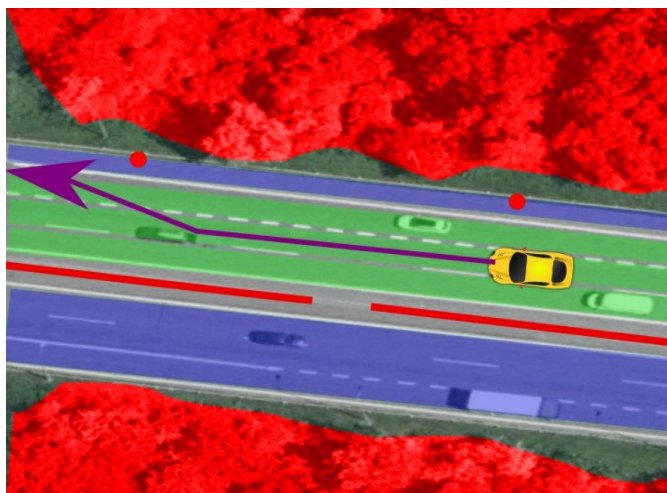


Obr. 4: Strategická úroveň plánování

Taktická úroveň řízení

Taktické rozhodování se zaměřuje na střednědobé plánování během jízdy, například jak reagovat na aktuální situaci na silnici. Zde mají HD mapy svůj význam především pro přizpůsobení rychlosti a jízdy, interakci s ostatními účastníky provozu a reakci na změny dopravních situací.

- **Přizpůsobení rychlosti a jízdy:** HD mapy poskytují informace o blížících se křižovatkách, zatáčkách, stoupáních nebo přechodech pro chodce. Na základě těchto dat může vozidlo rozhodnout o změně rychlosti, předjíždění nebo o potřebě zvýšené opatrnosti.
- **Interakce s ostatními účastníky provozu:** HD mapy mohou pomoci vozidlu předpovídat chování ostatních účastníků provozu, jako jsou chodci, cyklisté nebo jiná vozidla, a umožnit tak bezpečné rozhodování, například při změně jízdního pruhu nebo vjíždění do křižovatky.
- **Reakce na změny v dopravní situaci:** Pokud HD mapy obsahují aktuální dopravní data (např. o nehodách nebo zácpách), může vozidlo taktický plán upravit, například zvolit alternativní trasu.

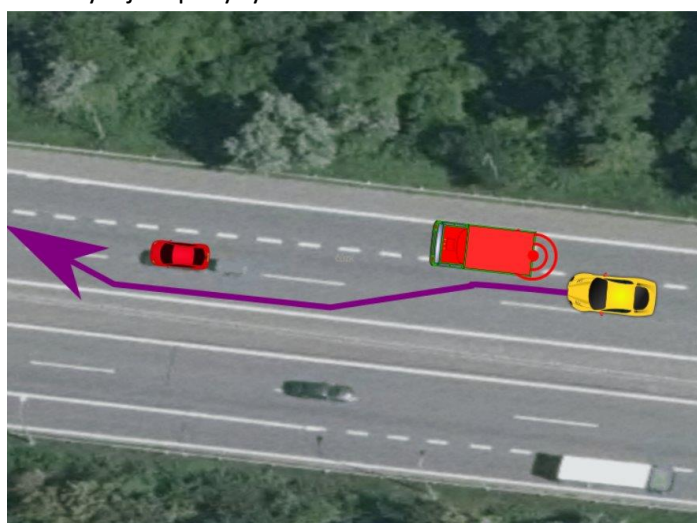


Obr. 5: Taktická úroveň plánování

Operativní úroveň řízení

Operativní rozhodování se týká okamžitých akcí vozidla během jízdy, které jsou nezbytné pro bezpečný a plynulý provoz. Zde hraje klíčovou roli i technologie C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems). Na operativní úrovni HD mapy hrají klíčovou roli v navigaci, udržování vozidla v jízdním pruhu, reakcích na dynamické změny v dopravě a interakci s dopravní infrastrukturou.

- **Přesná navigace a udržování vozidla v jízdním pruhu:** HD mapy poskytují detailní informace o rozložení jízdních pruhů, značení na vozovce a ohraničení silnice, což je klíčové pro udržování vozidla v pruhu a přesné navigování.
- **Reakce na dynamické změny:** Na operativní úrovni mohou HD mapy pomáhat vozidlu reagovat na náhlé změny, jako jsou neočekávané překážky na silnici, vozidla měnící směr nebo náhlé změny počasí (pokud jsou mapy aktualizovány v reálném čase).
- **Interakce s dopravní infrastrukturou:** HD mapy obsahují informace o umístění semaforů, dopravních značek a dalších prvků infrastruktury, což umožňuje vozidlu správně reagovat na světelnou signalizaci, dopravní značky a jiné pokyny.



Obr. 6: Operativní úroveň plánování

7.3 Aktuálnost a časová platnost dat

Z hlediska časové platnosti lze data, která proudí do vozidla rozdělit do 3 kategorií:

Statická data

Statická data jsou dlouhodobě stabilní a jejich změny jsou relativně vzácné. Typicky zahrnují informace, jako jsou silniční síť a jejich geometrie, stálé dopravní značky, mosty, tunely a jiné pevné objekty v prostředí.

Tato data mají delší životnost, často v řádu měsíců až let, protože se mění jen zřídka. Aktualizace těchto dat jsou méně časté, ale stále důležité, například při změnách v infrastruktuře.

Dynamická data

Dynamická data se mění častěji a zahrnují informace, které se mohou měnit v průběhu hodin nebo dnů. Příkladem jsou uzavírky cest, dočasné změny dopravního značení, dopravní omezení nebo stav povrchu silnic.

Životnost dynamických dat je kratší než u statických dat, často se jedná o hodiny až dny. Tyto informace musí být pravidelně aktualizovány, aby byly relevantní.

Live data

Live data jsou nejvíce proměnlivá a aktualizují se v reálném čase. Zahrnují například aktuální dopravní informace, polohu vozidel, stav semaforů, nehody, počasí nebo informace z jiných senzorů v reálném čase.

Životnost live dat je velmi krátká, často se jedná o sekundy až minuty. Tato data musí být aktualizována v reálném čase, aby poskytovala co nejpřesnější informace pro navigaci a autonomní řízení.

Případy použití / Životnost dat	Statická Data Zůstávají platná po dlouhé časové období, mění se pouze malé části v průběhu času. Toto je klasický příklad verzovaných mapových dat.	Dynamická data Mění se s omezenou časovou platností (dny/hodiny). Musí být zkontrolován věk dat, aby bylo možné určit, zda lze dynamické informace použít.	Live data Přechodná data s momentální platností. Např. stav vozidla, trasa nebo výsledek vyhledávání. Aplikace je buď okamžitě využije, nebo je zahodí.
Univerzální data Data obecně platná pro širokou škálu případů použití nebo jako obecný odkaz pro všechna ostatní data	Silnice	Dopravní omezení, opravy komunikací	Fáze semaforu, Proměnné informační značky
Kolektivní data Relevantní pro konkrétní skupinu případů použití. (Např. ISA, ADAS, navigace, osobní vs. nákladní, elektro vs. spalovací motry)	POI (specifické pro OEM)	Dostupnost nabíjecích stanic	Dynamické rychlostní limity, Dostupnost parkovacích míst (automatické parkování)
Individuální data Data generovaná/sdružená na základě individuálních požadavků pro specifické případy použití	Mapa vnitřního parkování	POI (sportovní akce)	Navigování, vyhledávání

7.4 Lokality pro implementaci autonomní mobility

Autonomní doprava v blízké budoucnosti se pravděpodobně zaměří na postupné nasazování autonomních systémů v konkrétních, kontrolovaných prostředích. Očekává se, že autonomní vozidla budou nejprve nasazována v uzavřených areálech, jako jsou nemocnice, univerzitní kampusy, průmyslové zóny či logistická centra, kde je snazší řídit provoz než na otevřených veřejných silnicích. Výhodou těchto prostředí je jejich omezený přístup pro veřejnost a vyšší úroveň kontroly, což usnadňuje integraci autonomních technologií. Díky tomu mohou být legislativní úpravy rychlejší a méně náročné než v případě nasazení na veřejných komunikacích.

Nejčastěji by mohlo jít o následující případy:

- **Nemocnice:** Zajištění autonomních vozidel pro přepravu pacientů, léků či zdravotnického materiálu.
- **Kampusy:** Univerzitní kampusy s rozsáhlými areály mohou těžit z autonomních shuttle služeb pro studenty a zaměstnance.
- **Logistická centra:** Optimalizace autonomních vozidel pro pohyb v rámci logistických a skladovacích prostor.
- **Průmyslové zóny:** Zavedení autonomních nákladních vozidel pro bezpečnou a efektivní přepravu materiálů v rámci průmyslových areálů.
- **Depa dopravních podniků:** Autonomní pohyb vozidel po potřeby údržby, přípravy pro výjezd na linkový oběh apod.

Lze předpokládat, že poptávka po HD mapách pro tyto specifické uzavřené prostory poroste, zejména pokud budou sloužit jako testovací prostředí pro autonomní technologie před jejich širším zavedením na veřejných komunikacích. Tento vývoj bude podporován růstem technologií pro přesné mapování a rychlé aktualizace HD map, což umožní autonomním systémům přizpůsobit se dynamickému prostředí i v uzavřených areálech.

V uzavřených areálech nebude možné využít globální HD mapy (např. TomTom, Here), proto je nezbytné zajistit podporu pro jejich lokální tvorbu a aktualizaci.

Po vyřešení legislativních a technických omezení bude docházet k nasazování plně autonomních technologií i na veřejné komunikace. Do té doby se na veřejných komunikacích budou objevovat vozidla s nižšími stupni autonomie ve formě různých asistenčních, protikolizních či automatizovaných systémů řízení.

8 HD mapy a datový fond měst

HD mapa je velmi detailní a přesný digitální otisk silniční či jiné dopravní infrastruktury, který zachycuje nejen základní prvky jako silnice, pruhy, křižovatky a dopravní opatření, ale také jejich přesné polohy s přesností v řádech centimetrů. Mapa může také obsahovat informace o povrchu, sklonu vozovky, obrubnících, semaforech či dopravních značkách, zeleni, okolních budovách či morfologii území.

HD mapy mohou být rozšiřovány o informace z městských datových fondů, jako je BIM, DTM, 3D model měst či databáze POI (body zájmu). BIM data poskytují podrobné informace o stavbách a jejich infrastruktuře, které lze integrovat do HD map pro přesnější zobrazení budov a jejich vztahů k dopravní infrastruktuře. BIM dopravních staveb ve stupni dokumentace skutečného provedení stavby, pokud bylo využito geodetické zaměření, pak může být přímo zdrojem dat pro HD mapy, resp. jejich aktualizace. Digitální technická mapa zase nabízí detaily o technických sítích, jako jsou podzemní inženýrské sítě, prvky dopravní a technické infrastruktury, což může obohatit HD mapu o kritické prvky městské infrastruktury. Digitální technické mapy jsou pořizovány ve 3D a měly by být zaměřeny ve 3. třídě geodetické přesnosti. 3D model města dodává prostorovou perspektivu a zajišťuje lepší vizuální propojení mezi terénem a zástavbou, zatímco databáze POI zvyšují uživatelskou hodnotu mapy díky zobrazení důležitých míst, jako jsou zastávky, nemocnice nebo školy.

Naopak HD mapa může těmto datovým fondům přidávat cenné údaje o aktuálním stavu a přesné lokalizaci dopravních prvků, jako jsou silnice, křižovatky, dopravní značení a jízdní pruhy, které mohou obohatit jak BIM, tak digitální technickou mapu nebo 3D model města. Tím se zajišťuje lepší přesnost a vzájemná propojenost jednotlivých vrstev datových sad. Pro vzájemné obohacování mezi HD mapou a 3D modelem města je potřeba mít 3D model jako objektový, ve kterém mají jednotlivé objekty svoji geometrii s odpovídající polohovou a výškovou přesností (v řádu centimetrů) a k ní navázané atributy. Toto propojení je vhodné vytvořit pro dlouhodobou udržitelnost uvedených datových sad, kdy často dochází k jejich aktualizacím nekoordinovaně. Pro provoz autonomních vozidel je vhodné zajistit maximální aktuálnost HD map, které vozidla využívají, a efektivní využití synergií napříč existujícím datovým fondem je dobrou praxí pomáhající zajistit vyšší aktuálnost a spolehlivost dat i autonomních systémů.

8.1 Standardizace HD map

Jelikož počet výrobců autonomních a asistenčních systémů, jakožto uživatelů, i počet výrobců HD map se stále zvyšuje, je zapotřebí mapy standardizovat, aby bylo možné HD mapy opakovaně využívat napříč různými kombinacemi tvůrce HD map – tvůrce autonomního systému (uživatel HD map). V případě využití standardizovaných formátů je výrazně větší šance, že HD mapu bude vozidlo schopnost nainportovat a správně interpretovat. Standardizace také zjednoduší proces sdílení dat a umožní jejich využití v širší oblasti.

Navigation Data Standard (NDS)

NDS je standard, který se primárně zaměřuje na ukládání, organizaci a výměnu navigačních dat. Je navržen tak, aby podporoval aplikace v automobilovém průmyslu, zejména pro navigační systémy v reálném čase, včetně ADAS map a HD map pro autonomní vozidla.

Používá se k poskytování dat pro navigaci, lokalizaci a asistenci řidiče. NDS obsahuje detailní informace o silniční síti, geometrických prvcích, dopravních pravidlech a dalších údajích potřebných pro navigaci a bezpečný pohyb vozidel.

NDS využívá standardizované formáty pro ukládání a sdílení navigačních dat, která jsou optimalizována pro rychlé načítání a aktualizaci v reálném čase v navigačních systémech automobilů. NDS umožňuje modulární přístup k navigačním datům, což znamená, že různé části mapy mohou být aktualizovány nebo načítány podle potřeby – jak v otázce vymezeného prostoru, tak v otázce jednotlivých typů informací. Tento přístup je důležitý pro udržení aktuálnosti dat v navigačních systémech.

NDS je optimalizováno pro integraci s reálnými daty, jako jsou dopravní informace, aktualizace mapy, a další dynamické prvky, což je klíčové pro navigaci v reálném čase.

Značnou nevýhodou tohoto standardu je fakt, že se jedná o průmyslový neveřejný standard; licence formátu je podmíněna členstvím v organizaci NDS Asociace, která vyžaduje vysoké vstupní a roční členské poplatky.

OpenDrive

OpenDrive je volně dostupný standard zaměřený na popis silniční sítě a geometrie, zejména pro účely simulace. Je navržen zejména pro použití v simulacích autonomního řízení a dalších aplikacích, kde je třeba přesně modelovat fyzickou silniční infrastrukturu. Jedná se o open-source formát organizovaný v hierarchické struktuře a zkompileovaný v XML (Extensible Markup Language).

Používá se hlavně ve virtuálních simulacích autonomních vozidel, kde je třeba detailně modelovat silniční síť, pruhy, křižovatky a další aspekty silniční geometrie. Jeho využití má přesah i do vývoje a validace prvků ADAS a autonomní jízdy. OpenDrive je často součástí širších simulací prostředí, jako jsou CarMaker, CARLA, VTD (Virtual Test Drive), a další nástroje používané k testování a vývoji autonomních systémů.

Na OpenDrive, který popisuje hlavně statické vlastnosti vozovky, navazují i další formáty. Například pro podrobný popis povrchu vozovky je potřeba OpenDrive rozšířit o data ve formátu OpenCRG. A pro komplexní definování pohybu v simulacích se využívá OpneSCENARIO.

Obsahově se OpenDrive z významné části překrývá se standardem NDS. Mezi oběma standardy existují převodníky dat, neumožňují však převést 100% obsahu do druhého z formátů.

Lanelet2

Lanelet2 je používán zejména v akademickém i průmyslovém výzkumu autonomního řízení. Je to volně dostupný formát, který je kompatibilní s různými simulátory a softwarovými balíčky, což z něj činí univerzální nástroj pro práci s mapovými daty.

Lanelet2 využívá OpenStreetMap jako základní zdroj mapových dat, která jsou následně obohacena a přizpůsobena potřebám autonomního řízení.

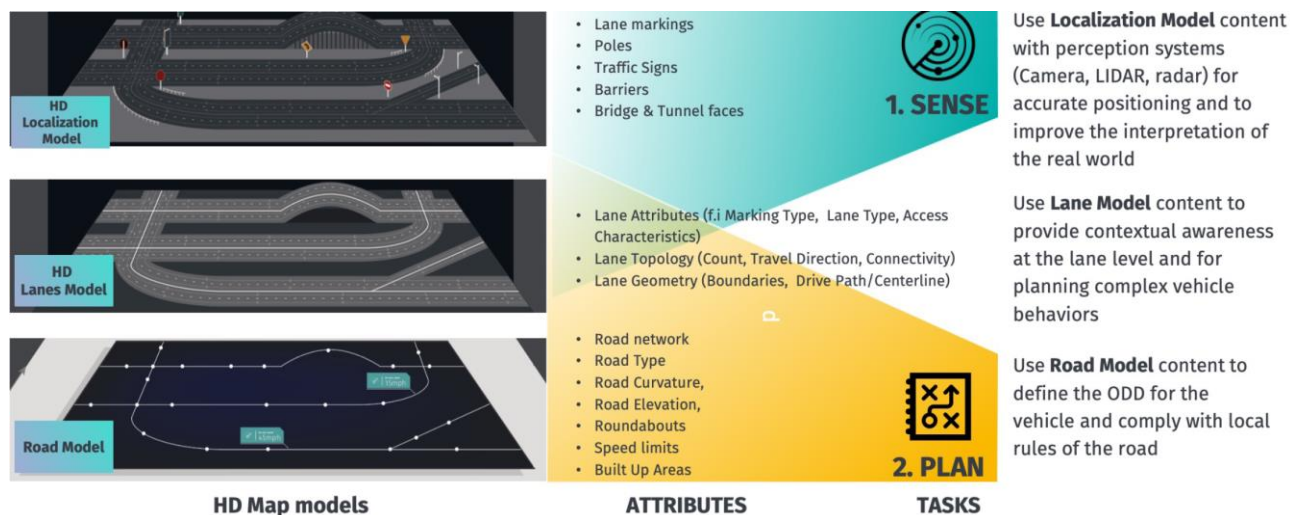
8.2 Současný stav tvorby HD map

Tvůrci globálních HD map

Mezi hlavní hráče v oblasti tvorby HD map pro automobilový průmysl patří společnosti TomTom a HERE. Obě společnosti nabízejí globální pokrytí u navigačních map, přičemž HERE má mírně širší pokrytí v Evropě a Severní Americe a nabízí detailní mapy ve více regionech, zatímco TomTom je silně zastoupen především v Evropě. Obě firmy produkují HD mapy pro vybrané komunikace – obvykle jde o HD mapy s mírně nižší přesností.

HERE HD Live Map

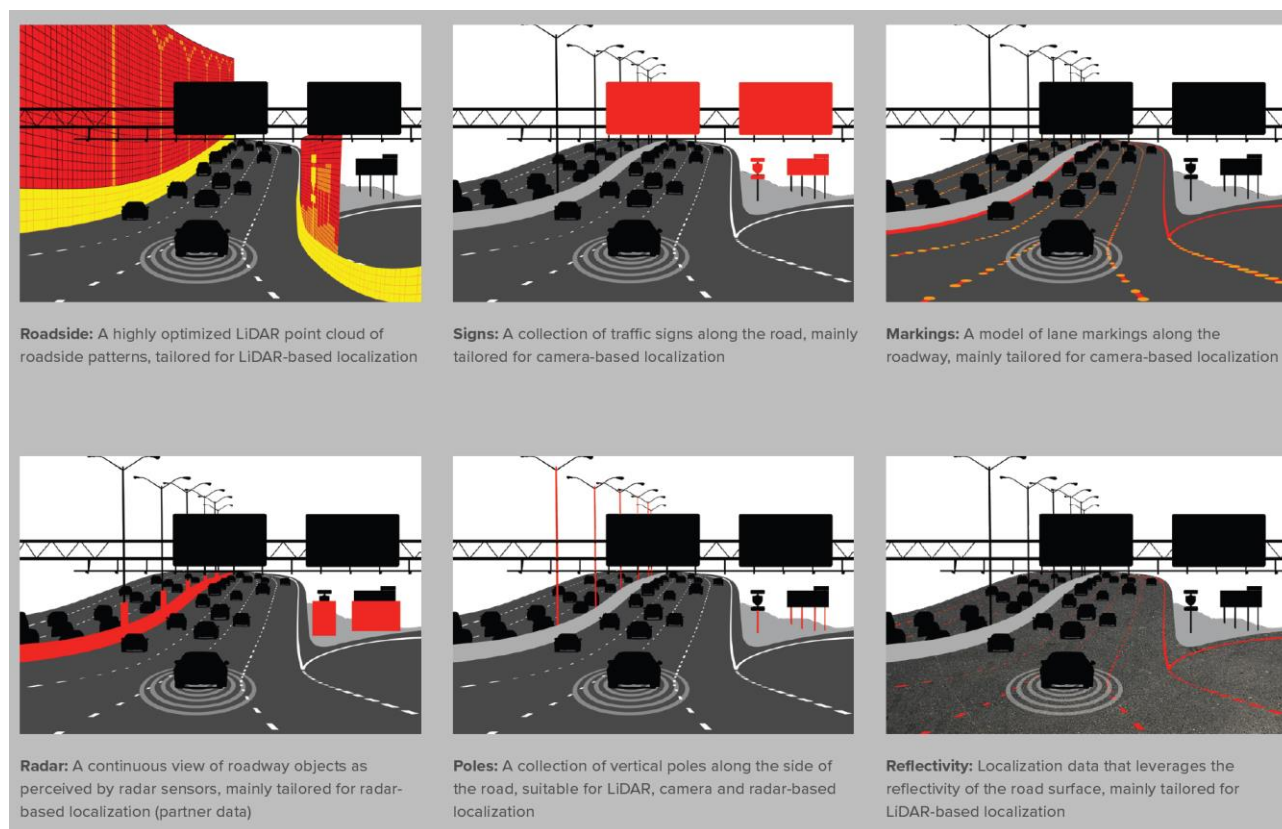
- HERE HD Live Map se zaměřuje na neustálé aktualizace v reálném čase, které jsou umožněny prostřednictvím cloudové služby. Data jsou kontinuálně aktualizována na základě informací z různých zdrojů, včetně vozidel na silnici, senzorů, a mobilních zařízení. To umožňuje velmi rychlé reagování na změny v dopravní situaci a infrastruktury.
- HERE HD Live Map je strukturována do tří hlavních vrstev: HD Road Model poskytuje detailní geometrické a topologické informace o silniční síti, HD Lane Model se zaměřuje na detaily jednotlivých jízdních pruhů a jejich pravidel, a HD Localization Layer zajišťuje vysoce přesnou lokalizaci vozidel prostřednictvím referenčních bodů a objektů podél silnice.



Obr. 7: Struktura HERE HD Live Map (zdroj: <https://www.here.com/platform/HD-live-map>)

TomTom RoadDNA

- TomTom nabízí aktualizace map v reálném čase prostřednictvím své služby AutoStream. Tato technologie umožňuje vozidlům stahovat nejaktuálnější mapová data přímo z cloudu, což zajišťuje, že jsou vždy aktuální bez nutnosti kompletního lokálního uložení dat.
- TomTom RoadDNA zahrnuje informace jako geometrie jízdních pruhů, rychlostní limity na úrovni jízdních pruhů, značení jízdních pruhů, dopravní značky, poloha okrajů vozovky a svodidel, konektivita jízdních pruhů aj. RoadDNA zahrnuje několik datových sad, které jsou přizpůsobeny jednotlivým typům senzorů, kterým jsou vozidla vybavena (kamer, radary, LiDAR) – viz obr. dále.



Obr. 8: Data TomTom RoadDNA přizpůsobená pro zpracování různými typy senzorů ve vozidle (zdroj: www.tomtom.com)

Tvorba HD map na zakázku

V případě, kdy se požadavky výrobců vozidel odlišují od HD map dostupných od globálních poskytovatelů, se doporučuje vytvoření HD mapy vybraného území zakázkově. Pouze tak lze docílit optimálních parametrů, aktuálnosti a přesnosti, nezbytných pro spolehlivý provoz autonomních technologií.

Tvorbu HD map na zakázku nabízí v Evropě zatím pouze omezené množství společností, protože HD mapy kombinují pokročilé znalosti a technologie z oblastí geodézie, geografie a informačních technologií. K jejich výrobě je dále zapotřebí odpovídající technologické vybavení. V ČR působí např. společnost CEDA, které se tvorbou HD map a datovou podporou při nasazování autonomních a asistenčních systémů dlouhodobě zabývá.

8.3 Požadavky na polohovou přesnost

I když jsou HD mapy známy svou vysokou přesností, není vždy nutné dosahovat centimetrové přesnosti ve všech částech mapy. Kombinování různých úrovní přesnosti pro různé účely je běžnou praxí, která umožňuje efektivní využití zdrojů a optimalizaci výkonu, přičemž je zajištěna dostatečná bezpečnost a funkčnost autonomního systému. Vysoká přesnost je vyžadována v kritických oblastech, zatímco v jiných lze použít méně přesná data. V potaz by měly být brány zejména technické požadavky jednotlivých autonomních systémů, přičemž v jednotlivých aspektech by měl být vždy vybrán nejpřísnější požadavek. Tak bude zajištěno, že výsledná data budou použitelná všemi autonomními systémy, které se budou pohybovat v daném území.

Vysoká přesnost (v řádu cm, tj. 3. třídy geodetické přesnosti) je nutná pro přesné vedení vozidla v pruhu, při změnách pruhů, na složitých křižovatkách a při manévrech, kde je potřeba přesně vědět, kde se vozidlo nachází. Je nezbytná v hustě osídlených oblastech s mnoha překážkami, například mezi budovami, kde je GPS signál omezený a je třeba využívat jiné metody pro lokalizaci. Při práci s dynamickými objekty, jako jsou jiná vozidla, chodci nebo cyklisté, je vysoká přesnost nezbytná pro bezpečné interakce a predikce.

Střední přesnost (v řádu dm) je dostatečná pro rozhodování na vyšší úrovni, například výběr pruhu na dálnici nebo pro rozhodování o tom, kdy odbočit nebo se připojit na jinou komunikaci.

Nižší přesnost (v řádu metrů) je dostatečná pro orientaci v širší oblasti, určení obecného směru cesty nebo rozpoznání základní polohy v rámci města nebo regionu.

Třída přesnosti	Podrobné polohové body (x,y)	Podrobné výškové body (z)
1.	0,04 m	0,03 m
2.	0,08 m	0,07 m
3.	0,14 m	0,12 m
4.	0,26 m	0,18 m
5.	0,50 m	0,35 m

8.4 Mobilní mapování

Obsah HD map je vytvářen specializovanými mapovacími společnostmi. Kromě standardizovaných mapovacích zařízení pro datový sběr používají společnosti i samotná autonomní vozidla vybavená pokročilými senzory. Vozidla mohou přispívat k průběžným aktualizacím map, což zajišťuje, že HD mapy zůstávají aktuální a reflektují změny v dopravním prostředí v reálném čase. Kombinace těchto přístupů umožňuje vytvoření map, které jsou jak přesné, tak i aktuální.

Pro prvotní pořízení HD map se nejčastěji využívají mobilní mapovací systémy, které kombinují různé technologie a senzory pro sběr dat. Použití specifických technologií následně ovlivňuje výslednou přesnost jednotlivých prvků HD mapy.

LiDAR, radar a kamerové systémy se vzájemně doplňují při detekci objektů a analýze dopravního prostředí. Každá z těchto technologií má své specifické vlastnosti a omezení, a proto se běžně kombinují, aby zajistily co nejpřesnější vnímání okolí i za nepříznivých podmínek. LiDAR poskytuje detailní prostorová data, radar umožňuje detekci objektů i v mlze či dešti a kamery přinášejí vizuální informace pro identifikaci dopravní infrastruktury. Jejich kombinace zajišťuje spolehlivější provoz autonomních a asistenčních systémů.

Dalšími technologiemi potom jsou:

GNSS (Global Navigation Satellite System)

GNSS poskytují globální určování polohy pomocí satelitních signálů. Tyto systémy jsou základem pro základní určování polohy vozidel. Základní přesnost se pohybuje v rozmezí několika metrů, ale pomocí diferenciálních technik (např. RTK-GPS) lze dosáhnout přesnosti na úrovni centimetrů.

Inerciální měřicí jednotky (IMU)

IMU systémy měří zrychlení a úhlové rychlosti vozidla, což umožňuje přesné sledování jeho pohybu. IMU systémy samy o sobě mají omezenou přesnost, ale v kombinaci s dalšími datovými zdroji mohou přispět k dosažení přesnosti na úrovni centimetrů.

Vlícování

Vlícovací body jsou pevné body na zemi s přesně známou polohou, které slouží jako reference pro kalibraci a validaci měřených dat. Převážně v lokalitách se špatným GNSS signálem se používají k zvýšení přesnosti HD mapy tím, že poskytují referenční hodnoty pro korekci dat získaných z měřících senzorů. Vlícovací body musí být tvořeny geodetickými metodami s přesností stejnou nebo vyšší, než mají mít výsledná data HD map, tedy v 1.- 3. třídě geodetické přesnosti. Body musí být buď vyznačeny v terénu pomocí terčů, nasprejovány pomocí šablon na povrch, nebo mohou být využity fyzické body zaměřitelné přesně v naměřených datech (např. konkrétní roh kanálové vpusti).

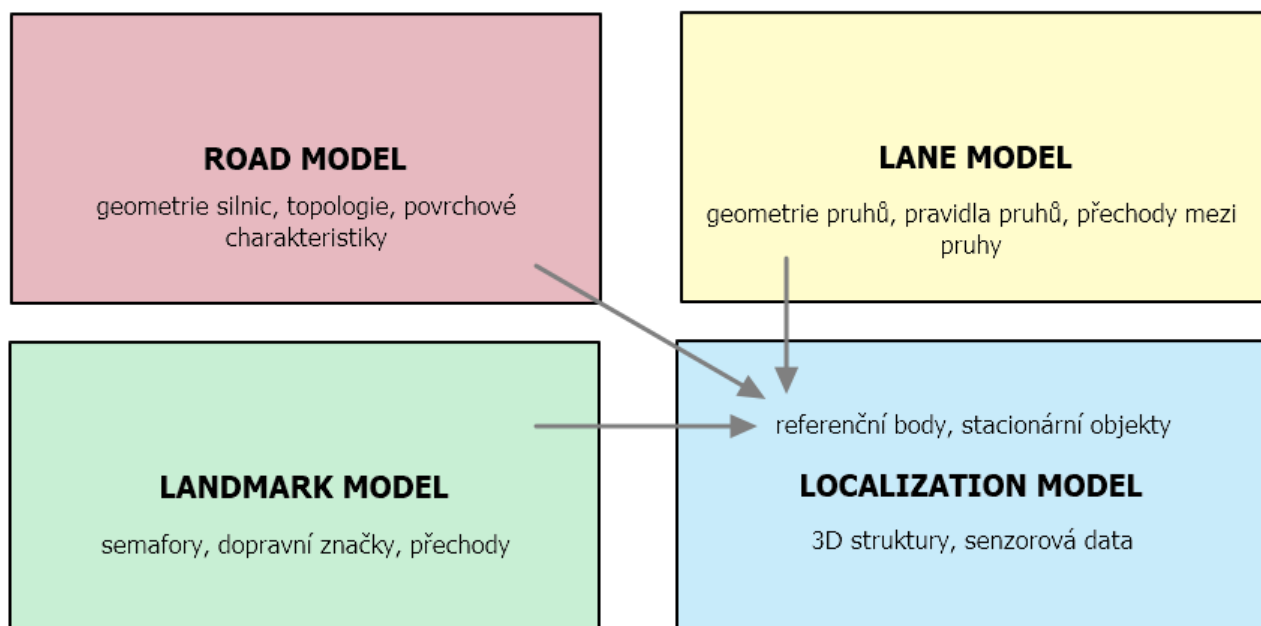
8.5 Struktura HD map – objektový katalog

Existují různé přístupy, jak popisovat strukturu HD map. Pro přehledné členění bude využito rozdělení na čtyři úrovně:

- Model silniční sítě (Road Model),
- Model jízdních pruhů (Lane Model),
- Model orientačních prvků (Landmark Model),
- Lokalizační model (Localization Model).

Road Model a Lane Model spolupracují na zajištění přesné navigace a jízdního chování v rámci silniční sítě.

Landmark Model a Localization Model se doplňují v oblasti přesné lokalizace a interpretace prostředí, což je nezbytné pro autonomní rozhodování.



Obr. 9: Struktura HD map

Model silniční sítě (Road Model)

Zahrnuje detailní informace o topologii a geometrii silniční sítě, jejich fyzických vlastnostech a dopravních regulacích. Rozdíl mezi běžnými navigačními daty a modelem silniční sítě v HD mapách je zásadní zejména v úrovni detailů a polohové přesnosti.

Běžná navigační data obsahují základní geografické informace o silniční síti, jako jsou silnice, křižovatky a orientační body (POI – points of interest). Tyto mapy jsou navrženy tak, aby poskytovaly řidičům pokyny pro navigaci (turn-by-turn instructions) a zajišťovaly základní plánování trasy. Typicky zahrnují informace jako jména ulic, rychlostní limity, typy silnic (např. dálnice, místní silnice) a dopravní předpisy. Mají přesnost v řádu metrů, což je dostatečné pro většinu běžných navigačních úkolů, jako je plánování trasy nebo poskytování pokynů řidiči.

Model silniční sítě v HD mapách je mnohem detailnější a přesnější než běžná navigační data. Tento model obsahuje velmi podrobné informace o geometrii silnic, jako jsou přesné zakřivení, sklony, změny v nadmořské výšce, přesné polohy jízdních pásů, a další fyzické charakteristiky silnice. Zahrnuje také topologické informace, které popisují vztahy mezi různými částmi silniční sítě, jako jsou propojení mezi pruhy, složité křižovatky, odbočovací pruhy a místa, kde se pruhy spojují nebo rozdělují.

Geometrie silnic

- **Zakřivení silnic:** Přesné informace o zatáčkách a jejich poloměru.
- **Sklon a stoupání/klesání:** Informace o vertikálních změnách na silnici.
- **Výškové rozdíly:** Detailní data o změnách v nadmořské výšce na silnici.

Topologie silnic

- **Napojení a rozdělení:** Informace o místech, kde se silnice spojují nebo rozdělují.
- **Křižovatky:** Detailní popis geometrie křižovatek a vztahů mezi jednotlivými silnicemi.

Povrchové charakteristiky

- **Typ povrchu:** Informace o materiálu vozovky (např. asfalt, beton).
- **Stav povrchu:** Data o stavu vozovky, jako jsou výmoly, nerovnosti nebo kluzké úseky.

Zóny a omezení

- **Rychlostní limity:** Přesné informace o rychlostních limitech na jednotlivých úsecích silnice.
- **Zóny s omezením:** Informace o speciálních zónách, jako jsou školní zóny, obytné oblasti, nebo zóny s omezením vjezdu pro určité typy vozidel.

Prostorové objekty

- **Mosty, tunely, podjezdy:** Detailní informace o umístění a geometrii těchto struktur, které jsou klíčové pro plánování trasy a řízení.

Model jízdních pruhů (Lane Model)

Lane Model v HD mapách obsahuje detailní data o jízdních pruzích, včetně jejich geometrie, pravidel a omezení, přechodů mezi pruhy, a dalších prvků, které jsou kritické pro přesné řízení v rámci pruhu. Tento model umožňuje autonomním systémům vozidel sledovat a dodržovat správnou trasu, měnit pruhy bezpečně a efektivně, a dodržovat dopravní předpisy specifické pro jednotlivé pruhy.

Geometrie jízdních pruhů

- **Poloha a šířka pruhů:** Přesné informace o umístění a šířce jednotlivých jízdních pruhů. Toto zahrnuje detaily o tom, kde začínají a končí pruhy, jak se mění jejich šířka a jak jsou pruhy na silnici uspořádány.
- **Směr pruhů:** Informace o zakřivení a směru jízdních pruhů, což umožňuje vozidlům přesně sledovat jejich trasu.
- **Přechody mezi pruhy:** Data o místech, kde je povolena změna jízdního pruhu, včetně informací o spojení a rozdělení pruhů.

Pravidla a omezení pruhů

- **Rychlostní limity pro jednotlivé pruhy:** Specifické rychlostní limity, které se mohou lišit mezi pruhy (např. různé limity pro levý a pravý pruh na dálnici).
- **Speciální pruhy:** Informace o vyhrazených pruzích, jako jsou pruhy pro autobusy, cyklisty nebo pruhy s omezením, například HOV pruhy (High-Occupancy Vehicle Lanes).
- **Značení a symboly na vozovce:** Data o vodorovném značení, jako jsou šipky, přechody pro chodce, stop čáry nebo speciální symboly, které mají vliv na jízdu.

Spojování a rozdělování pruhů

- **Odbočovací pruh:** Informace o pruzích, které jsou určeny pro odbočení, včetně jejich začátku, konce a přechodu mezi běžnými jízdními pruhy.
- **Připojovací a výjezdové pruh:** Data o pruzích určených pro připojení nebo výjezd z hlavní silnice, například na dálniční nájezdy a sjezdy.

Okraje pruhů a bezpečnostní zóny

- **Obrubníky a krajnice:** Přesné informace o umístění obrubníků a krajnic, které definují hranice pruhů a pomáhají vozidlům udržet se na správné trase.
- **Bezpečnostní zóny:** Informace o vymezených bezpečnostních zónách, například zónách pro chodce nebo nouzových pruzích.

Model orientačních prvků (Landmark Model)

Landmark Model v autonomním řízení slouží k poskytování kritických informací o orientačních bodech, které vozidlu umožňují přesně lokalizovat svou pozici, interpretovat dopravní signalizaci a pravidla, navigovat složitými dopravními uzly a provádět bezpečné manévry.

Dopravní signalizace

- **Semaforey:** Informace o umístění, typu a vztahu k jízdním pruhům.
- **Světelné signály:** Specifické signály pro různé směry a pruh, včetně šipek pro odbočení a semaforů pro cyklisty nebo chodce.

Dopravní značky

- **Rychlostní limity:** Značky informující o maximální povolené rychlosti.
- **Řízení provozu:** Značky upravující přednost.
- **Zákazy a příkazy:** Značky, které zakazují nebo příkazují určité manévry (např. zákaz odbočení, povinný směr jízdy).
- **Varovné značky:** Značky upozorňující na nebezpečí, jako jsou ostré zatáčky, přechody pro chodce, nebo práce na silnici.

Přechody pro chodce

- **Značené přechody:** Přesné umístění přechodů pro chodce včetně příslušného vodorovného značení.
- **Ostrůvky pro chodce:** Informace o ostrůvcích uprostřed přechodů, které slouží k bezpečnému přecházení.

Infrastrukturní prvky

- **Mosty:** Umístění mostů, jejich výška a další relevantní informace.
- **Tunely:** Umístění tunelů, jejich délka a výška, včetně informací o osvětlení a ventilaci.
- **Železniční přejezdy:** Umístění a typ železničních přejezdů, včetně signalizace.

Orientační body (Landmarks)

- **Budovy a významné struktury:** Informace o umístění významných budov a struktur, které mohou sloužit jako referenční body.
- **Stacionární objekty:** Sloupy, lampy, sloupy veřejného osvětlení, a další pevné objekty podél silnice, které mohou být využity pro lokalizaci vozidla.
- **Identifikovatelné prvky infrastruktury:** Může zahrnovat specifické detaily na silnici, jako jsou odvodňovací kanály nebo jiné drobné fyzické struktury, které mohou být použity k lokalizaci vozidla.

Křižovatky a dopravní uzly

- **Křižovatky:** Specifické informace o typu a geometrii křižovatek, včetně světelné signalizace a značení.
- **Kruhové objezdy:** Detaily o kruhových objezdech, včetně pravidel přednosti a značení.

Body zájmu (POI)

- **POI:** Body, které mohou být důležité pro plánování a optimalizaci trasy. Zahrnují různé druhy objektů, jako jsou benzínové stanice, parkoviště, restaurace, nemocnice a další body zájmu, které mají pro uživatele reálný význam. Pro autonomní systémy jsou tato data užitečná k vytváření tras s ohledem na konkrétní zastávky nebo cesty do určitých lokalit.

Lokalizační model (Localization Model)

Localization Model v HD mapách je klíčovou vrstvou, která umožňuje vozidlům určit svou přesnou polohu na silnici s vysokou úrovní přesnosti, často na úrovni centimetrů.

Referenční a stacionární objekty pro lokalizaci

Jako základní objekty pro lokalizaci jsou využívány nejčastěji orientační body (viz Landmark Mode) a vybrané prvky z ostatních modelů (např. vodorovné značení).

3D struktura prostředí

- **3D model terénu:** Detailní 3D modely okolí a terénu.
- **Digitální model povrchu (DSM - Digital Surface Model):** Zachycuje výšku všech objektů na povrchu, včetně vegetace a budov.

Senzorová data

- **Data z LiDARu:** Autonomní vozidlo může porovnat aktuální mračno bodů, které získává ze svých senzorů, s referenčním mračnem bodů uloženým v HD mapě; je však značně náročné na výpočetní výkon a ukládací kapacitu.

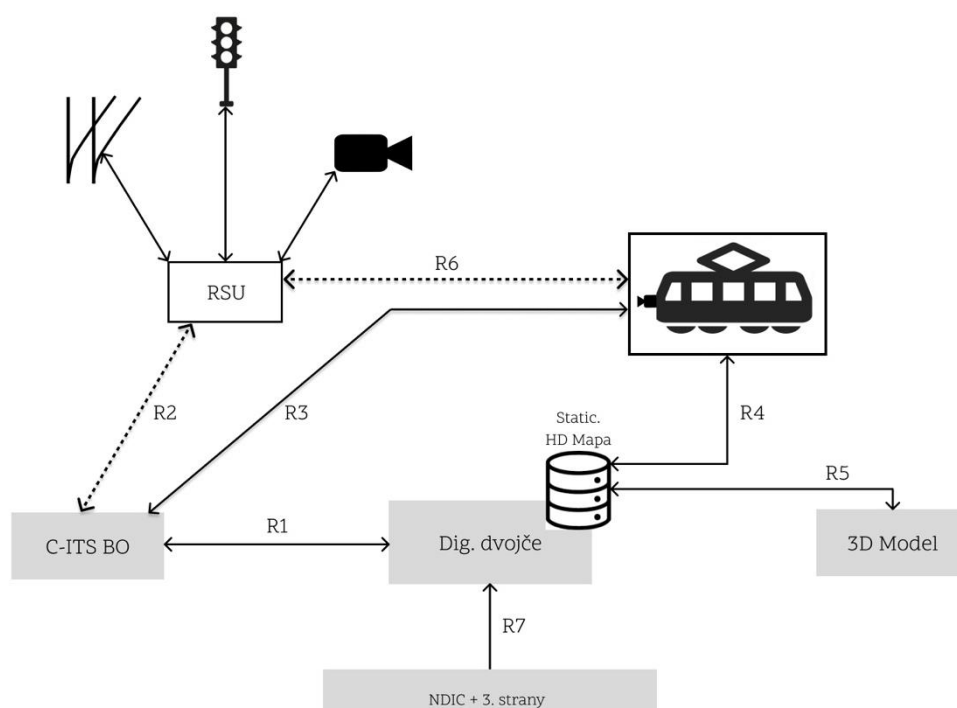
Occupancy Grid / Voxel Grid

- **Occupancy / Voxel Grid** je metoda reprezentace prostředí, která rozděluje prostor na 2D mřížku / 3D buňky a zaznamenává, zda jsou jednotlivé buňky obsazeny, volné nebo neznámé. Kromě lokalizace je využíván například k detekci překážek.

9 Datové toky

9.1 Komunikace, integrace

V rámci nasazení systémů pro podporu autonomního provozu je nutné využít různých typů komunikace mezi jednotlivými prvky systému. Na obrázku je uveden příklad systémové architektury systému DD využívající C-ITS systém jako komunikační platformu. Bezpečnost a zejména důvěryhodnost veškerých C-ITS systémů je, s ohledem na jejich heterogenní charakter a distribuovanou architekturu, vystavěna na principech infrastruktury veřejných klíčů (vycházející z angl. ekvivalentu Public Key Infrastructure, dále jen „PKI“), která je technologicky založena na asymetrické kryptografii (často také označované jako kryptografie s veřejným klíčem) a vytváří ekosystém vzájemné důvěry mezi jednotlivými aktéry systému, díky důvěryhodným komponentám a ustanoveným procedurám.



Obr. 10: Architektura systému DD s komunikačními rozhraními

Jednotlivé prvky systému jsou v různých lokalitách a je nutné zabezpečit spolehlivé a zabezpečené datové propojení těchto prvků. Popis většiny rozhraní vychází ze specifikací vytvořených v rámci projektu C-Roads CZ, který stanovil požadavky na interoperabilitu a bezpečnost datové komunikace mezi jednotlivými komponentami systému.:

- Rozhraní R1 – toto datové rozhraní představuje obecně přímé napojení C-ITS Back Office na množinu systémů, které nejsou přímou součástí C-ITS, ale představují významné datové vstupy pro poskytované služby. Způsob přenosu ani rozsah přenášených informací není na národní ani mezinárodní úrovni standardizovaný a je na konkrétním zhotoviteli a zadavateli, jak si toto rozhraní definují. V případě datové komunikace mezi C-ITS Back Office a dopravními řídicími centry, kdy dochází k výměně dopravních informací (data o provozu, mimořádné události, aj.), se doporučuje

využít protokol DATEX II, který byl právě pro tyto účely vyvinut a v Evropě je běžně používán. Tento protokol je definován v následujících normativních dokumentech:

- CEN TS 16157-1 Inteligentní dopravní systémy – Specifikace výměnného formátu DATEX II pro řízení dopravy a dopravní informace – Část 1: Obecný rámec a architektura
- CEN TS 16157-2 Inteligentní dopravní systémy – Specifikace výměnného formátu DATEX II pro řízení dopravy a dopravní informace – Část 2: Označování pozice
- CEN TS 16157-3 Inteligentní dopravní systémy – Specifikace výměnného formátu DATEX II pro řízení dopravy a dopravní informace – Část 3: Publikace situace

Překladové tabulky mezi protokoly DATEX II, C-ITS a dalšími (TMC, TPEF2-TEC) jsou zpracovány na evropské úrovni, pod záštitou těchto organizací:

- C2C-CC,
- C-Roads,
- DATEX II,
- TISA,
- Data for road safety.

V rámci přenosu dat do DD, tak mimo něj je vhodné data o C-ITS událostech distribuovat ve formátu, který nevyžaduje, aby napojený subjekt disponoval C-ITS stackem pro deserializaci dat. Data jsou pak tedy distribuována v obecném, strojově čitelném formátu. Přenos dat musí být zabezpečen.

- Rozhraní R2 – Komunikace mezi C-ITS Back Office a C-ITS jednotkou / mobilní aplikací může být realizována do určité míry proprietárně na základě potřeb a požadavků jednotlivých poskytovatelů C-ITS služeb a správců C-ITS infrastruktury, musí však splňovat obecné požadavky C-ITS systému. Tato volnost se vztahuje zejména na charakter fyzické přenosové vrstvy – v závislosti na dostupnosti komunikační infrastruktury a na charakteru poskytovaných služeb může být toto rozhraní realizováno jak přes pevné sítě (např. optické kabely na dálnicích), tak přes sítě mobilních operátorů (LTE, 5G). Přenos musí probíhat zabezpečenou komunikací, např. v rámci privátní APN. Co se týče samotného obsahu, komunikaci v rámci rozhraní lze rozdělit do dvou kategorií, tj.:
 - C-ITS zprávy, Servisní zprávy – jedná se o standardizovanou komunikaci, důvěryhodnost zpráv je zajištěna jejich podepisováním v systému PKI.
 - Data z detektorů a externích zařízení – jedná se o proprietární komunikaci poskytovatele zařízení:
 - Řadiče SSZ,
 - EOv výhybek,
 - Externí detektory.
 - Může být řešeno i zprostředkováním navázání komunikace pomocí standardních protokolů poskytovatele detekčních zařízení (kamery – ONVIF, ...).
- Rozhraní R3 – jedná se o obdobu rozhraní R2. Prostřednictvím tohoto rozhraní je zajištěno propojení vozidlové C-ITS jednotky (OBU) se systémy vozidla, popř. externí detektory. Systémy, na které se C-ITS jednotka může napojit, se liší dle typu vozidla (popř. vozíku), ve kterém je instalována. Tyto systémy představují datové vstupy, které jsou následně použity pro automatické generování specifických C-ITS zpráv, popřípadě jsou tato data přeposílána do nadřazených systémů (C-ITS Back Office), kde jsou dále zpracovávána a dále distribuována. U vozidlových jednotek se tak může jednat např. o následující informační zdroje:

- ACS vozidla/ systém pro autonomní řízení vozidla,
- Palubní LAN síť,
- CAN/OBD II sběrnice vozidla,
- Řídící systémy vozidlových nástaveb,
- Odbavovací a informační systémy vozidla,
- Ovládací systém bezpečnostních vozíků,
- Externí detektory,
- Manuální vstupy uživatel prostřednictvím HMI atd.

- Rozhraní R4 – jedná se obvykle o import vytvořené HD mapy ve standartních formátech k výrobcům vozidel, kteří je naimportují do formátů využívaných v palubních systémech vozidel. Takto zpracovaná data jsou následně rozkopírována do jednotlivých vozidel. Data mohou být poměrně objemná a dle připravenosti systémů, komunikačních technologií a dalších vlivů toto rozkopírování může být provedeno offline (například pomocí USB harddisku) nebo pomocí aktualizace OTA (Over the Air) – často pomocí WiFi ve vozovně. Stejným způsobem probíhá i aktualizace těchto dat.

Seznam vrstev, objektů, požadavky na přesnost či aktuálnost závisí na specifikaci konkrétního vozidla nebo dokonce verze jeho interního systému. Je vhodné je v každém případě konzultovat s výrobcem předem.

Vozidlo může přispívat k aktualizaci HD mapy (nejen pro stejný typ vozidel, ale i pro ostatní autonomní systémy ve městě, případně pro agendové systémy měst, 3D model města apod.), kdy může reportovat odchylky mezi realitou a HD mapou. Může jít o změny v topologii sítě komunikací, změny dopravního značení, změny v objektech na komunikaci a v jejím okolí. Takováto pozorování autonomních systémů umožní efektivnější udržování HD map a dalších mapových podkladů ve vysokém stupni aktuálnosti.

- Rozhraní R5 – Jedná se obvykle o offline komunikaci, kdy k vytvoření HD map lze využít existující 3D modely měst. V tomto případě je nutné ověřit jejich polohovou přesnost, aktuálnost a spolehlivost. Pokud v uvedených kritériích vyhovují, lze data vytěžit, použít pro kontroly polohové přesnosti a další operace.

Opačně však HD mapy mohou pomoci zpřesnit či obsahově doplnit 3D modely měst. Zejména vhodné je využít synergické efekty spočívající v možnosti data HD map a 3D modelu využívat pro aktualizaci druhé z datových sad. Je třeba nezapomenout na rozdílné filozofie obou datových zdrojů – HD Mapa obvykle neřeší objekty vzdálené od komunikace nebo části objektů, které nejsou viditelné z komunikace (střechy, vnitrobloky apod.). Naopak 3D model měst bývá obvykle v nižší podrobnosti, přesnosti a spolehlivosti, než je vyžadováno v prostředí autonomních technologií.

- Rozhraní R6 – Komunikace mezi jednotkou na infrastruktuře a vozidlovou jednotkou je základním principem C-ITS systému. V rámci tohoto spojení se periodicky obousměrně vyměňují informace o stavu příslušných jednotek pomocí mikrovlnné technologie DSRC. Pro toto spojení bylo celosvětově vyhrazeno frekvenční pásmo 5,9 GHz, ve kterém probíhá rádiová komunikace krátkého dosahu (až 1000 m). Výhodou této technologie je její rychlost a spolehlivost, přičemž výměna informací může probíhat až desetkrát za vteřinu. Komunikace mezi vozidlovými jednotkami a jednotkami na infrastruktuře, popř. mezi dvěma vozidlovými jednotkami navzájem, byla na mezinárodní úrovni standardizována. Příslušný standard v Evropě je označován jako ITS-G5, vychází ze standardu IEEE 802.11p a je definován v normách ETSI. Jsou přenášeny specifické zprávy – CAM, DENM, IVIM, SPATEM, MAPEM, SREM, SSEM a další nestandardizované – MCM, CPM, RCMEM, VAM.

- Rozhraní R7 – Komunikace datových zdrojů se systémem DD v reálném čase. Jde o využití technologie datových pump, které se napojují na jednotlivé datové zdroje, typicky pomocí těchto zdrojů poskytovaných API, avšak také pomocí scrapingu webu či dalších metod. Jednotlivé datové pumpy / injektory se starají o komunikaci s jediným datovým zdrojem, monitorují jeho dostupnost, převádí získaná data z daného formátu do univerzálních datových modelů pro dané typy informací (např. zpoždění na komunikaci, obsazenost parkovacích míst apod.). Z uvedeného je zřejmé, že při implementaci systému DD dojde k integraci jednotlivých datových zdrojů individuálně. Vedle toho je možné využít celoplošné zdroje třetích stran, které DD mohou mít již integrované. Jako příklady lze uvést data z národního dopravního informačního centra ŘSD, meteodata a další obdobné zdroje. V uvedených případech jsou data napojena do DD pomocí publikovaných API jednotlivých poskytovatelů.

9.2 Vstupy dat 3. stran

Pro sběr dat o aktuální dopravě mohou být využity externí zdroje, jak na národní úrovni, tak městské/lokální. Data slouží pro doplnění vlastních dat získaných v rámci provozu ITS systémů a slouží pro operativní řízení, predikce vývoje stavu dopravy poskytování aktuálních informací uživatelům. Mohou být využity zejména zdroje a informace:

- NDIC (Národní dopravní informační centrum), informace ve formátu DATEX II:
 - Data z FCD – informace o dojezdových dobách, rychlosti dopravního proudu, stavu dopravy, zpoždění, kolonách,
 - Uzavírky a omezení,
 - Hustota provozu,
 - Proměnné dopravní značení,
 - Nehody, uzavírky, práce na silnici,
 - Informace o počasí.
- Dopravní ústředna města:
 - Stav dopravy,
 - Stav SSZ křižovatek,
 - Informace o nehodách a kolonách,
 - Stav PDZ/ZPI,
 - Stav tunelů.
- Dispečinky:
 - IZS – místa zásahů, trasy jízdy k zásahům,
 - SŽDC – mimořádné situace, stav přejezdů,
 - MP/PČR – mimořádné situace, konání hromadných akcí (společenské, sportovní, ...),
 - Městské (organizace města) - obsazenost parkovišť, mimořádné situace, poruchy:
 - Správci dopravní infrastruktury,
 - Vodárny,
 - Plynárny,
 - Distributoři el. Energie.
 - Správci povodí – aktuální situace a predikce průtoků toků,
 - ČHMÚ – stav a predikce počasí, predikce mimořádných stavů.
- Meteodata,

- Komerční poskytovatelé mobilitních služeb:
 - Parkování,
 - Dobíjení,
 - Sdílená kola, koloběžky, skútry,
 - Carsharing,
 - Demand Responsive Transport,
 - Taxi.

9.3 Datové zdroje

K tvorbě HD map lze kromě zaměření prostřednictvím mobilního mapování a následné extrakce využít i další dostupné datové zdroje, jako jsou navigační databáze, statická data ve formě pasportů a dynamická data popisující aktuální stav či změny na komunikacích.

Navigační databáze a databáze zájmových bodů

Navigační databáze představují cenný základ pro tvorbu HD map, protože poskytují strukturu silniční sítě, dopravní pravidla, orientační body (POI) a další klíčové informace. Tyto databáze lze efektivně využít pro základní mapování, které se poté doplňuje o vysoce přesná a detailní data potřebná pro autonomní řízení. Výsledkem je rychlejší, levnější a komplexnější tvorba HD map, která splňuje požadavky na přesnost a spolehlivost pro pokročilé dopravní systémy.

ŘSD Global Network

Jedná se o vektorový, routovatelný model silniční a uliční sítě, který plně pokrývá území České republiky, zahrnující dálnice, lesní a polní cesty, cyklostezky, pěšiny a další typy komunikací. Tento model je využíván řadou organizací, jako jsou NDIC, Ministerstvo dopravy, Správa železnic nebo kraje a města. Vychází z normy ISO 20524:2020 pro Inteligentní dopravní systémy – geografické datové soubory (GDF verze 5.1), což umožňuje jeho využití i pro navigační aplikace. Datová sada je plně kompatibilní s geodatabází CEDA StreetNet.

Dopravní graf pozemních komunikací

Dopravní graf pozemních komunikací je datový produkt vznikající v rámci projektu Digitálních technických map ČR (DTM ČR) – například v Libereckém kraji. Tento produkt představuje komplexní datovou sadu zahrnující prvky dopravní infrastruktury na úrovni území krajů. Jádrem je síťový graf komunikací, který je plně kompatibilní s databází Global Network a splňuje požadavky na přesnost stanovené projektem DTM, konkrétně třetí třídou přesnosti. Díky kompatibilitě s navigační databází Global Network a vysoké polohové přesnosti představuje dopravní graf optimální základ pro tvorbu HD map.

OpenStreetMap

OpenStreetMap (OSM) je volně dostupná a komunitně spravovaná platforma pro mapování. Zatímco OSM mapy mohou sloužit jako užitečný nástroj při výzkumu, simulacích a experimentování, jejich využití pro budoucí nasazení HD map v autonomním řízení je omezené. Chybí jim systematická aktualizace, garantovaná přesnost a spolehlivost dat, což jsou klíčové požadavky pro bezpečný a efektivní provoz autonomních vozidel.

Pro reálné nasazení budou muset být HD mapy vytvářeny s důrazem na přesnost, pravidelné aktualizace a zohlednění dynamických prvků dopravního prostředí, což OSM v současné podobě nemůže plně zajistit.

Databáze adresních a zájmových bodů (POI)

Databáze adresních bodů a POI jsou klíčovými doplňky k HD mapám, které poskytují přesné, aktuální a detailní informace o důležitých lokalitách. Tyto databáze zahrnují jak jednotlivá adresní místa, tak široké spektrum zájmových bodů, jako jsou benzínové stanice, nemocnice, školy, kulturní památky, turistické atrakce, obchody a další veřejné nebo komerční objekty.

Adresní body v rámci ČR lze nalézt v datech ČUZK, konkrétně registru územní identifikace, adres a nemovitostí (RÚIAN), Českého statistického úřadu (ČSU) nebo komerčních poskytovatelů.

Existuje mnoho různých typů databází POI, které lze rozdělit na globální a lokální.

Agendová dynamická data

Dynamická data z agendových systémů hrají klíčovou roli při aktualizaci a zajištění provozní spolehlivosti HD map pro autonomní řízení a inteligentní dopravní systémy. Na rozdíl od statických dat, která popisují pevné prvky dopravní infrastruktury, dynamická data se zaměřují na proměnlivé podmínky v dopravním prostředí. Agendová dynamická data poskytují informace o pravidelných nebo střednědobých změnách, které je nutné zohlednit při aktualizaci HD map, aby tyto mapy odpovídaly aktuálnímu stavu infrastruktury.

Aktuální dopravní omezení a uzavírky

Dynamická data z agendových systémů, jako jsou dočasné uzavírky, stavební práce nebo plánované dopravní události, mají zásadní význam pro udržení aktuálnosti HD map. Autonomní vozidla potřebují přístup k těmto informacím, aby se mohla vyhnout neprůjezdným úsekům, optimalizovat trasy a zajistit bezpečný provoz.

Pasport dopravního značení

Pasporty dopravního značení obsahují komplexní informace o veškerém dopravním značení na daném území, zahrnující svislé dopravní značky, semaforey, vodorovné značení, dopravní zařízení a další související prvky infrastruktury.

Tyto pasporty by měly hrát zásadní roli při tvorbě a především aktualizaci HD map. Poskytovaná data jsou klíčová pro naplnění modelu jízdních pruhů (zejména informace o vodorovném značení), modelu silniční sítě (zejména svislé dopravní značení), informací o regulaci pohybu po pozemních komunikacích a také pro lokalizační model. Z tohoto důvodu bude do budoucna vhodné upravit datové modely těchto pasportů a optimalizovat procesy jejich aktualizace tak, aby co nejlépe odrážely aktuální stav dopravní infrastruktury a umožnily efektivní aktualizaci HD map.

Pasport městského mobiliáře

Data z pasportu městského mobiliáře mohou být využita v lokalizačním modelu jako pomocné orientační prvky. Zahrnují prvky, jako jsou lavičky, odpadkové koše, veřejné osvětlení či informační tabule, které podporují funkci lokalizace, ale nemají další význam pro systémy autonomního řízení. Z tohoto důvodu není u těchto dat tak zásadní jejich aktuálnost, jako je tomu u jiných prvků dopravní infrastruktury. Využití těchto dat tak může zvýšit spolehlivost lokalizace, ale nevyžaduje časté aktualizace, protože systémy autonomního řízení pracují se značnou redundancí objektů a jsou odolné na částečnou změnu reálného prostředí.

Pasport zeleně

Data z pasportu městské zeleně mohou být rovněž využita v lokalizačním modelu jako doplňkové orientační prvky. Tato data zahrnují informace o stromech, keřích, travnatých plochách a dalších vegetačních prvcích v městském prostředí. Stejně jako u městského mobiliáře slouží tyto prvky pouze jako pomocné body pro zlepšení prostorové orientace a nejsou tedy klíčové pro kritické aspekty autonomního řízení. Z tohoto důvodu nejsou nutné časté aktualizace těchto dat.

Pasport parkovací a dobíjecí infrastruktury

Tato data jsou důležitá pro navigaci a plánování tras, protože umožňují autonomním vozidlům efektivně najít parkovací místa a v případě elektromobilů také dobíjecí stanice.

Důraz na aktuálnost a přesnost těchto dat je vyšší, protože změny v parkovacích zónách nebo dostupnosti dobíjecích stanic mohou přímo ovlivnit provoz vozidel a jejich navigační rozhodování. Proto je nezbytné, aby tato data byla pravidelně aktualizována a integrovaná do HD map pro zajištění správného fungování lokalizačního i navigačního systému.

Pasport zastávek veřejné dopravy

Data z pasportu zastávek veřejné dopravy jsou v kontextu lokalizačního modelu a navigačních systémů HD map důležitá zejména pro plánování tras a podporu multimodální dopravy. Tento pasport obsahuje informace o poloze zastávek veřejné dopravy a může zahrnovat i detaily o přístřešcích, nástupištích nebo informačních tabulích.

Zastávky veřejné dopravy slouží jako významné referenční body pro lokalizaci a jsou také důležité pro plánování tras autonomních vozidel, zejména v urbanistickém kontextu, kde je potřeba zohlednit interakce s hromadnou dopravou. Navíc jsou tato data zásadní pro poskytování informací cestujícím v rámci inteligentních dopravních systémů.

Aktuálnost těchto dat je poměrně důležitá, jelikož změny v poloze zastávek, trasách veřejné dopravy nebo infrastruktury kolem zastávek mohou výrazně ovlivnit navigaci a rozhodovací procesy autonomních systémů.

Dynamická data

Dynamická data hrají klíčovou roli při aktualizaci a zajištění provozní spolehlivosti autonomního řízení a inteligentních dopravních systémů. Na rozdíl od statických dat, která popisují pevné prvky dopravní infrastruktury, dynamická data se zaměřují na proměnlivé podmínky v dopravním prostředí. Dynamická data poskytují informace o pravidelných nebo střednědobých změnách s periodou aktualizace v řádu minut až dní, které je vhodné poskytovat autonomním nebo asistenčním systémům, aby reakce vozidel odpovídaly aktuálnímu stavu infrastruktury.

Aktuální dopravní omezení a uzavírky

Dynamická data z agendových systémů, jako jsou dočasné uzavírky, stavební práce nebo plánované dopravní události, mají zásadní význam pro doplnění stabilizovaného stavu dopravní infrastruktury popsaného pomocí HD map. Autonomní vozidla potřebují přístup k těmto informacím, aby se mohla vyhnout neprůjezdným úsekům, optimalizovat trasy a zajistit bezpečný provoz.

Dočasné změny dopravního značení

Dočasné změny dopravního značení se týkají situací, kdy jsou běžná pravidla silničního provozu dočasně pozměněna z důvodu stavebních prací, sportovních a kulturních akcí, údržby komunikací, sezónních omezení nebo jiných krátkodobých faktorů. Dočasné změny dopravního značení mohou mít zásadní vliv na navigaci a bezpečnost provozu.

Stav povrchu komunikací

Stav povrchu komunikací zahrnuje různé aspekty týkající se fyzické kondice silničních povrchů a infrastruktury, které ovlivňují kvalitu a bezpečnost jízdy. Dynamická data o stavu komunikací mohou zahrnovat např.

- Opatření a poškození vozovky (výmoly, praskliny, eroze povrchu, vyjeté koleje aj.),
- Dočasný stav vozovky vlivem povětrnostních podmínek (náledí, sníh aj.),
- Znečištění vozovky (zbytky po nehodách, olejové skvrny, bahno aj.),
- Zhoršení viditelnosti značení.

Stav tunelů, lokalizační systémy pro tunely

Stav tunelů jako dynamická data poskytuje klíčové informace a zajišťuje bezpečný průjezd autonomních vozidel prostředím se ztíženou lokalizací (bez přítomnosti signálu satelitní navigace GNSS). Pravidelný monitoring a aktualizace těchto dat jsou nezbytné pro přesné plánování tras, přizpůsobení rychlosti a jízdního stylu a zajištění bezpečnosti v tunelech.

Příklady dynamických dat o stavu tunelů:

- Aktuální povolená rychlost pro jednotlivé části tunelu,
- Povolený směr průjezdu jednotlivými jízdními pruhy,
- Dočasné uzavírky kvůli údržbě nebo nehodám,
- Omezení pro nákladní dopravu.

Live data

Live data jsou data, která se aktualizují v reálném čase (v řádu zlomků sekundy až jednotek minut) a poskytují okamžitý přehled o aktuální situaci v dopravě a na pozemních komunikacích. Tato data jsou kritická pro okamžité reakce autonomních systémů a jejich schopnost přizpůsobovat se rychle měnícím se podmínkám na pozemních komunikacích.

Meteorologická data

Povětrnostní podmínky, jako je hustý déšť, sníh, mlha, silný vítr nebo náledí, výrazně ovlivňují bezpečnost silničního provozu. Dynamická data z meteorologických systémů, která reflektují aktuální povětrnostní situaci nebo predikují její vývoj, mohou být využita pro úpravu chování autonomních vozidel, například při úpravě rychlosti, volbě trasy nebo nastavení jízdních systémů.

Aktuální dopravní zatížení komunikací

Data o aktuálním stavu dopravy a přetížení silnic jsou nezbytná pro efektivní rozhodování autonomních vozidel. HD mapy obohacené o tato dynamická data umožňují autonomním systémům volit trasy, které objíždějí dopravní zácpy, přizpůsobit rychlost jízdy nebo zvolit alternativní trasy.

Proměnné dopravní značení

Správci komunikací mohou využívat proměnné dopravní značení, která se mění v závislosti na denní době, hustotě dopravy nebo povětrnostních podmínkách. Zahrnují aktuální informace o změnách v rychlostních limitech, provozu v jízdních pružích a další podmínky provozu na pozemních komunikacích.

Stav SSZ

Stav světelných signalizačních zařízení zahrnuje aktuální informace o fungování a nastavení světelné signalizace na křižovatkách, signálních plánech a fázích, času do jejich změn. Vozidla jej využívají pro plánování své jízdy před křižovatkami.

Může se jednat o tyto informace:

- Aktuální světelný cyklus: Informace o přesném načasování změn signálů (např. jak dlouho zůstane červená nebo zelená), což umožňuje vozidlu lépe se připravit na zastavení nebo průjezd.
- Poruchy nebo výpadky: Okamžitá informace o tom, že je semafor nefunkční, v poruchovém režimu nebo bliká oranžově, což vyžaduje změnu chování vozidla.
- Adaptivní řízení dopravy: Některé systémy semaforů jsou přizpůsobeny aktuální dopravní situaci a mohou dynamicky měnit délku světelných cyklů podle hustoty dopravy. Live data umožňují autonomním systémům přizpůsobit rychlost podle těchto dynamických změn.

Obsazenost parkovišť a dobíječek

Data z provozních nebo detekčních systémů parkovišť a dobíjecí infrastruktury mohou také zahrnovat aktuální informace o dostupnosti parkovacích míst či obsazenosti dobíjecích stanic pro elektromobily. Tato data jsou klíčová pro autonomní vozidla, která potřebují nejen najít vhodné místo k zaparkování nebo dobítí, ale také optimalizovat trasu podle aktuální dostupnosti těchto služeb.

Polohy vozidel MHD, IZS a dalších speciálních vozidel

Tato data jsou zvláště důležitá v městském prostředí, kde interakce mezi různými typy vozidel vyžadují neustálou koordinaci a přizpůsobení, aby byl zajištěn bezpečný, plynulý a efektivní provoz.

Technologie, které umožňují sběr a distribuci live dat o poloze vozidel, zahrnují:

- GPS sledovací systémy: Vozidla MHD, IZS a speciální vozidla jsou vybavena GPS zařízeními, která nepřetržitě sledují jejich polohu a vysílají data do centrálních systémů.
- Komunikace vozidlo-infrastruktura (V2I): Technologie V2I umožňuje vozidlům a infrastruktuře (např. křižovatkám) sdílet live data o poloze a dalších parametrech.

- **Systémy řízení dopravy:** Městské dopravní systémy často zahrnují monitorovací technologie, které sledují pohyb MHD a dalších vozidel a poskytují tato data dalším účastníkům dopravního provozu.

Příklady live dat o poloze vozidel:

- **Poloha autobusů a tramvají:** Autonomní vozidla mohou díky live datům přesně vědět, kde se MHD vozidla nacházejí, a upravit svou trasu nebo rychlost, aby minimalizovala interakci s těmito vozidly.
- **Usnadnění průjezdu vozidel IZS:** Data o poloze vozidel integrovaného záchranného systému jsou kritická pro umožnění jejich rychlého a bezpečného průjezdu.
- **Poloha vozidel údržby:** Informace o tom, kde se pohybují vozidla údržby silnic nebo jiná vozidla zajišťující dopravní infrastrukturu, mohou autonomním vozidlům pomoci přizpůsobit rychlost či se vyhnout dočasným omezením.
- **Informace o stavu vozidel, případná varování o jejich okolí** (zásah IZS, stání vozidla MHD na zastávce apod.).

10 Doporučené postupy při zavádění autonomních technologií

10.1 Návrh (vč. analýzy současného stavu)

Vozidlo

Současné technologie umožňují využití asistenčních systémů ve vozidlech, které za určitých podmínek dokážou minimalizovat dopady případných kolizí způsobených primárně nepozorností účastníků provozu. Případně umožnit provádění rutinní (provozní) operace místo řidiče. Samotné systémy jako takové musí postupně prokázat spolehlivost daného subsystému a bezpečnou přenášenou informaci za vše podmínek. Toho lze dosáhnout pouze postupným nasazením a průběžným hodnocením jednotlivých provozních situací a následně je nutné ošetřit nevyhovující scénáře tak, aby bylo možné dosáhnout určitého stupně autonomie.

Technologie na infrastrukturu

Při návrhu infrastruktury pro autonomní mobilitu je klíčové zohlednit několik hlavních oblastí, které zásadně ovlivňují úspěšné zavedení a fungování autonomních vozidel. Tyto oblasti zahrnují **dopravní infrastrukturu** a **technologickou připravenost**, které tvoří základní rámec pro efektivní a bezpečné nasazení autonomních systémů v městských a regionálních prostředích.

Infrastruktura zahrnuje všechny fyzické komponenty a technologické systémy, které podporují autonomní vozidla, včetně silnic, křižovatek, dopravních značek a signalizačních zařízení. Je nezbytné, aby byla navržena s ohledem na specifické požadavky autonomních vozidel, jako je schopnost efektivně komunikovat s vozidly a poskytovat aktuální a přesné informace o dopravní situaci.

Technologická připravenost se týká implementace a integrace potřebných technologií, které umožňují autonomním vozidlům správně fungovat. To zahrnuje jak technologie pro detekci a monitorování prostředí, tak systémy pro zpracování a přenos dat mezi vozidly a infrastrukturou.

Kromě těchto hlavních oblastí může být užitečné zahrnout i vedlejší oblasti, které, ačkoliv nejsou primárně technologické, mohou významně ovlivnit úspěch autonomní mobility. Tyto oblasti zahrnují:

- **Finanční kapacitu**, která hodnotí schopnost města nebo regionu financovat dlouhodobé investice do infrastruktury a provozu autonomní mobility.
- **Veřejné mínění**, které se zaměřuje na přijetí a podporu veřejnosti vůči autonomním vozidlům, včetně obav o bezpečnost, soukromí a ekologické dopady.
- **Ekologické dopady**, které hodnotí environmentální aspekty autonomní mobility, včetně potenciálu pro snížení emisí skleníkových plynů a zlepšení energetické efektivity dopravy.

Dopravní infrastruktura

V návrhu infrastruktury pro autonomní mobilitu je klíčové zaměřit se na specifické aspekty, které zásadně ovlivňují schopnost autonomních vozidel bezpečně a efektivně operovat v reálném prostředí. K tomu patří nejen kvalita povrchu komunikací, dopravní značení a viditelnost, ale také pokročilé technologie, které zajišťují správnou funkčnost těchto prvků. Kritéria návrhu infrastruktury jsou prezentována ve formě tabulek, které detailně rozlišují tři úrovně kvality – základní, střední a pokročilou – a umožňují tak přehledné

a systematické přizpůsobení požadavků a technologií podle konkrétních potřeb a úrovně rozvoje autonomní mobility.

Kvalita povrchu komunikací

Úroveň	Kritéria
Základní	Pravidelná údržba silnic bez výmolů a trhlin Opravy silnic do jednoho měsíce Standardní asfaltové materiály
Střední	Pravidelná kontrola stavu silnic pomocí senzorů nebo inspekčních vozidel Použití moderních materiálů (např. polymer-modifikovaný asfalt) Rychlé opravy poškození do jednoho týdne
Pokročilá	Inteligentní povrchy silnic s monitorováním stavu v reálném čase Poloautomatizované systémy pro opravu menších poškození Použití vysoce odolných materiálů, jako jsou geosyntetika

Dopravní značení podélné i příčné

Úroveň	Kritéria
Základní	Dobře viditelné podélné pruhy a příčné značení pomocí standardních nátěrů Pravidelná obnova značení každých 1-2 roky Použití reflexních nátěrů pro zvýšení viditelnosti v noci
Střední	Použití termoplastických nátěrů s delší životností pro podélné a příčné značení Instalace světelných signalizačních prvků na klíkových přechodech a křižovatkách Pravidelná obnova značení každých 6-12 měsíců
Pokročilá	Použití inteligentních světelných pruhů, které mohou měnit barvu nebo blikání podle aktuálních dopravních podmínek Plná integrace značení s autonomními systémy vozidel (V2I komunikace) Automatizované systémy pro detekci a opravu značení

Viditelnost

Úroveň	Kritéria
Základní	Použití reflexních materiálů pro zlepšení viditelnosti dopravního značení za zhoršených podmínek (déšť, mlha) Pravidelná kontrola a údržba reflexních prvků Instalace základního osvětlení na klíkových úsecích silnic

Střední	Použití vysoce reflexních a fluorescenčních materiálů pro značení a dopravní značky Zavedení adaptivního osvětlení, které se přizpůsobuje aktuálním světelným podmínkám Pravidelná kontrola viditelnosti značení za různých podmínek (noc, déšť, mlha)
Pokročilá	Použití materiálů, které mění své vlastnosti podle aktuálních podmínek (např. barva, jas) Plná integrace s inteligentními osvětlovacími systémy, které se automaticky přizpůsobují aktuálním podmínkám Instalace senzorů monitorujících viditelnost a automatické úpravy značení a osvětlení v reálném čase

Technologická připravenost

Technologická připravenost je klíčovým faktorem pro úspěšnou implementaci autonomní mobility ve městech. Tato kapitola se zaměřuje na tři hlavní oblasti technologické připravenosti: konektivitu a komunikační síť, senzorové síť a detekční technologie, a datovou infrastrukturu a analytiku. Pro každou z těchto oblastí jsou definovány tři úrovně – základní, střední a pokročilá – které představují postupný rozvoj a integraci technologií nezbytných pro podporu autonomní dopravy.

Konektivita a komunikační síť

Úroveň	Kritéria
Základní	Dostupnost základní mobilní a internetové sítě (4G/LTE) Pokrytí města stabilním 4G signálem Zajištění základní internetové konektivity ve veřejných prostorech
Střední	Široká dostupnost vysokorychlostního internetu (5G) ve většině městských oblastí Integrace digitálních dvojčat pro simulaci a testování V2I (Vehicle-to-Infrastructure) komunikace v pilotních projektech. Rozšíření pokrytí 5G sítě do hlavních dopravních koridorů a uzlů
Pokročilá	Kompletní pokrytí města 5G sítí nebo ekvivalentní vysokorychlostní komunikační technologií Plně integrovaná V2V a V2I komunikace umožňující plynulou výměnu informací mezi vozidly a infrastrukturou Zajištění nízké latence a vysoké spolehlivosti přenosu dat pro autonomní systémy

Senzorové sítě a detekční technologie

Úroveň	Kritéria
Základní	Základní senzory a detektory: magnetické smyčky, piezosenzory, indukční detektory na klíčovách křižovatkách a dopravních uzlech Implementace základních kamerových systémů pro monitorování dopravy bez pokročilé analýzy obrazu Použití základních dopravních senzorů pro měření intenzity dopravy
Střední	Rozšířená síť senzorů a detektorů (infračervené detektory, akustické senzory, stereokamery, radarové senzory) pokrývající hlavní dopravní tepny a kritické body ve městě Integrace senzorů do semaforů a dopravních značek pro lepší řízení dopravy Použití pokročilých senzorů, jako jsou infračervené kamery a akustické senzory
Pokročilá	Kompletní senzorová síť pokrývající celé město, schopná poskytovat data v reálném čase Použití pokročilých technologií, jako jsou LIDAR, radar a kamery, integrovaných do městské infrastruktury Automatizované systémy pro detekci a analýzu dopravních podmínek v reálném čase Využití digitalizace městské infrastruktury pomocí digitálních dvojčat pro lepší správu a monitorování senzorových dat v reálném čase.

Datová infrastruktura a analytika

Úroveň	Kritéria
Základní	Základní systémy pro sběr a ukládání dopravních dat Zavedení základních databází pro ukládání historických dopravních dat Použití jednoduchých analytických nástrojů pro základní analýzu dat
Střední	Zavedení systémů pro analýzu a vizualizaci dopravních dat Použití dat pro zlepšení dopravního plánování a řízení Implementace dashboardů pro vizualizaci dopravních trendů a identifikaci problémových oblastí
Pokročilá	Pokročilé datové centrum schopné zpracovávat velké objemy dat v reálném čase Implementace umělé inteligence a strojového učení pro prediktivní analýzu a optimalizaci dopravy Integrace dat z různých zdrojů (senzory, vozidla, sociální sítě) pro komplexní analýzu a rozhodování

Implementace digitálních dvojčat pro analýzu velkých objemů dat z různých zdrojů (senzory, vozidla, sociální sítě) pro prediktivní analýzu a rozhodování.

Centrální prvky

Vzhledem k neexistující standardizaci v oblasti požadavků na centrální prvky autonomní mobility je nutné vybírat řešení a partnery/dodavatele, kteří jsou schopni své produkty k podpoře autonomní mobility rozvíjet a mezi sebou kooperovat. Ideálním stavem poté je, aby byl pouze jeden subjekt odpovědný za dodávku celého ekosystému. Např. u tramvajového provozu je to zpravidla výrobce tramvajových vozidel, který dodává svá vozidla např. společně s technologiemi autonomního depa. Je pak zajištěna jednoznačná odpovědnost za dodávku a funkčnost všech systémů.

V rámci dodávek je pak vhodné realizovat zkušební provoz systému, který ověří, zda jsou dodané systémy funkční, stabilně plní požadované funkce a jsou provozu schopné.

Centrální prvky systému je nutné vybudovat a provozovat v závislosti na předpokládaném rozsahu a využití systémů a s možností škálovatelnosti.

Je nutné brát v potaz mnoho aspektů, které mohou mít vliv na výslednou architekturu a provoz centrálních prvků. Před vlastní realizací by tedy měla být zpracována implementační analýza, která by měla identifikovat všechny aspekty nezbytné pro realizaci CP, popsat technické řešení a požadované technické a normativní standardy, které je nutné dodržet (např. včetně nároků na zajištění kybernetické bezpečnosti), a identifikovat rizika spojená s volbou výsledných technických řešení.

Důraz by měl být kladen na interoperabilitu, využití standardizovaných formátů a rozhraní, které usnadní integrovatelnost systémů, prvků a informací mezi sebou.

HD mapy a datový fond měst

Pro úspěšné zavádění autonomních technologií ve městech je klíčovým krokem vytvoření kvalitního datového základu, přičemž stěžejní roli hrají HD mapy a městské datové fondy.

Prvním krokem je pořízení vysoce přesných a spolehlivých HD map ve standardizovaných formátech, jako jsou OpenDRIVE nebo NDS, které autonomní vozidla využívají pro přesnou navigaci a orientaci v městském prostředí. Tyto mapy musí obsahovat detailní informace o infrastruktuře, jako jsou silnice, křižovatky, dopravní značení, semaforey a parkovací plochy, aby umožnily bezpečný a plynulý provoz autonomních vozidel. Pokud není zřejmé, se kterými z těchto formátů umí dodavatelé autonomních vozidel pracovat, lze jako meziprodukt využít i data, která se využívají při tvorbě těchto HD map: mračna bodů ve formátech LAS/LAZ ve 3. třídě geodetické přesnosti, panoramatické fotografie, extrahované prvky komunikací a model sítě pozemních komunikací ve 2D i 3D GIS formátech jako je např. SHP, modely budov a terénu ve formě 3D meshů.

Paralelně je nutné provést detailní analýzu současných datových zdrojů města, které mohou být využity pro správu a provoz autonomních systémů a digitálního dvojčete. Mezi tyto zdroje mohou patřit, při splnění podmínek na prostorovou přesnost, data z BIM, DTM nebo 3D modelu města a dále údaje o dopravním provozu, veřejné dopravě, parkování či inženýrských sítích. Město by mělo rovněž zjistit, jaké nové datové sady je schopno pro účely autonomní mobility a digitálního dvojčete dlouhodobě sbírat a aktualizovat.

Vytvoření komplexního datového fondu, který zahrnuje jak statická data o infrastruktuře, tak dynamická data o aktuálním dopravním provozu, je klíčové pro efektivní nasazení autonomních technologií a jejich integraci do městského prostředí.

10.2 Pořízení

C-ITS BO

C-ITS BO, jako centrální stanice C-ITS systému, musí splňovat požadavky na funkce v rámci hybridního C-ITS systému (splňující specifikace definované projektem C-Roads). Dále jsou jeho součástí další služby zajišťující podpůrné funkce C-ITS back office, popř. jeho komunikace s externími systémy. Součástí C-ITS BO je zpravidla také GUI pro uživatele systému (webová aplikace - Frontend), sloužící pro uživatele systému, kteří skrze něj mohou ovládat funkce BO a manuálně vytvářet C-ITS události.

Základní doporučené technické a funkční požadavky na C-ITS BO je možné popsat pomocí jednotné architektury zaručující otevřenost a rozšiřitelnost systému pro budoucí C-ITS služby, přenosové cesty, popř. pro geografické pokrytí ITS službami tak, aby do něj snadno mohly být zapojeny nové moduly bez nutných změn v architektuře systému.

Back Office je vybaven C-ITS stackem, který je definován příslušnými ETSI/ISO standardy. BO zpracovává příchozí a generuje standardizované C-ITS zprávy, které jsou validovány a dále distribuovány do připojených C-ITS stanic dle geografických pravidel, stanovených rovněž výše uvedenými standardy. Může zde probíhat také výměna C-ITS zpráv s Integrační platformou, díky čemuž je možné CP datově propojit s ostatními C-ITS back offices zapojenými do národního C-ITS ekosystému. Za účelem zajištění a ověření důvěryhodnosti komunikujících zařízení a zpráv je BO registrován a využívá služeb C-ITS security (PKI), kdy k uložení kryptografických informací používá HSM modul.

C-ITS BO je obvykle provozován v IT prostředí objednatele nebo cloudu. Je tedy vyžadováno zajištění příslušně dimenzovaný HW a SW (je nutné zohlednit škálovatelnost systému):

- HW serverů – potřebný výpočetní výkon (fyzická jádra procesorů, operační paměť, ...),
- datová úložiště – dle požadavků na objem a rychlost datových úložišť (lokální disky, SAN, ...),
- OS – operační systémy,
- virtualizační prostředí – virtuální servery pro aplikace,
- databázové SW,
- síťová infrastruktura,
- zabezpečení proti hrozbám,
 - o nastavení a správa práv systému,
 - o firewall,
 - o zálohovací infrastruktura...,
 - o provoz v režimu HA (High Availability) – redundance, Load Balancing, Failover, Clustering, ...,
 - o apod.

Digitální dvojče

Systém digitálního dvojčete je centrální prvek, který může být provozován v cloudu nebo v interní síti města. Vzhledem k tomu, že hlavním smyslem DD je sběr informací v prostředí internetu, nepřináší umístění DD v prostředí města žádné zásadní výhody.

Hlavním posláním DD je agregace dat z heterogenních datových zdrojů o všech fenoménech, které ovlivňují mobilitu v daném území. Pro každý datový zdroj je vytvořen datový injektor, který se napojuje na konkrétní rozhraní zdroje informací. Informace dekóduje z komunikačního protokolu do datového modelu pro daný typ informací, přiřazuje informace k jednotlivým objektům v modelu sítě komunikací.

Perioda aktualizace informací by měla být přizpůsobena periodě zdroje, avšak neměla by být kratší než 1 sekunda a delší než 10 minut.

Výstupy ze systému digitálního dvojčete tvoří rozhraní, které vydává informace o aktuálním stavu mobility v území, dále rozhraní, které vydává historická data za zvolenou časovou periodu (minimálně jednotky minut). Obě rozhraní by měla umožnit definovat území a typy informací, které budou DD vráceny.

Datový formát DD by mělo tvořit API s dokumentovaným tvarem dotazu i odpovědi. Odpovědi mohou obsahovat data (dle typu informace) ve standardních formátech, jakými jsou XML, JSON, DATEX II, CSV apod.

Součástí DD mohou být dále mapové frontendové aplikace, které umožní náhled na data vydávaná z DD, systémy umožňující debugování toku informací, simulující datové zdroje či systémy, které s pomocí HD map / 3D modelu města a dat z DD rekonstruuji děje v daném území a časovém úseku.

Základní doporučené technické a funkční požadavky na DD je možné popsat pomocí jednotné architektury zaručující otevřenost a rozšiřitelnost systému pro budoucí typy informací, datové zdroje, přenosové cesty, popř. pro geografické pokrytí ITS službami tak, aby do něj snadno mohly být zapojeny bez nutných změn v architektuře systému.

Klíčové je propojení DD s dalšími centrálními prvky ITS, které obvykle koncentrují data z určité oblasti související s mobilitou v dané lokalitě.

Provoz DD vyžaduje odpovídající HW zabezpečení, kritické bývají požadavky na datová úložiště a propustnost systému. Z tohoto důvodu je vhodné využít pro DD cloudovou infrastrukturu s vysokou možností škálování dle aktuálních potřeb. Provoz v cloudu v managovaném prostředí nebo v serverless architektuře navíc zajišťuje vysokou odolnost proti kybernetickým útokům typu DDoS.

HD mapy a datový fond měst

Požadavky na měření

Pro tvorbu HD map jsou nezbytné vysoce přesná a detailní podkladová data. HD mapy se vytvářejí pro oblasti o rozloze jednotek, desítek, až stovek kilometrů, což vyžaduje sběr obrovského množství dat v krátkém časovém horizontu. Nejefektivnějším způsobem, jak tato data získat, je použití pokročilého mobilního mapovacího systému (MoMa) schopného generovat miliony bodů za sekundu, což umožňuje vytvoření přesného 3D modelu mapované oblasti ve formě mračna bodů. Doporučené parametry MoMa:

- Duální rotační lidar,
- Minimální dosah 200 m při počtu měření min. 3 mil/s,
- Hustota mračna ve vzdálenosti 10 m min. 4000 bodů/m²,
- Relativní přesnost do 5 mm, absolutní do 5 cm,
- Panoramatickou kameru s rozlišením min. 30Mpx.

Při použití méně kvalitního mobilního mapovacího systému mohou být data v nedostatečné kvalitě a hustotě pro přesné zpracování. Nutností by bylo zde provádět vícenásobná měření při snížené rychlosti a zajistit zaměření velkého množství kontrolních a vlíčovacích bodů pro dosažení požadované absolutní přesnosti.

Měření trasy

Pro samotné měření je klíčové zohlednit podobu samotné trasy. Na základě jejího profilu by měl být zvolen odpovídající způsob měření. Doporučuje se provádět měření v obou směrech, aby se eliminovaly stíny a slepé úhly vzniklé při použití lidarů. V případě měření tramvajového pásu, pokud je pás průjezdný, anebo je umístěn ve středu komunikace s viditelností z obou stran, je dostačující provádět měření pomocí mobilního mapovacího systému (MoMa) umístěného na vozidle. Pokud je však kolejiště vystouplé a není možné jej projet automobilem, nebo v jeho těsné blízkosti, je nutné umístit MoMa na drážní vozidlo nebo jiné hybridní vozidlo schopné pohybu po kolejích. Při měření na železnici platí stejné podmínky jako pro měření tramvajového pásu. V městském prostředí je ideální využít mobilní mapovací systém umístěný na vozidle. V oblastech s vysokým počtem parkujících vozidel podél nebo na komunikacích je vhodné zajistit uzavírku silnic nebo provést blokové čištění. V těžko přístupných místech lze využít MoMa v podobě batohového řešení, a to jak pro chodce, tak například pro jízdu na koloběžce.

Zpracování

Výsledkem měření by mělo být surové mračno bodů, které je pomocí trajektorie urovnané do souřadnicového systému, dle požadavků zákazníka (nejčastěji to bude WGS84). Mračno bodů by mělo splňovat minimálně 3. třídu geodetické přesnosti, to znamená 14 cm v polohové a 12 cm ve výškové přesnosti. Pokud jsou místa se zhoršeným nebo žádným GNSS signálem, je zapotřebí použití vlíčovacích bodů. Výsledné mračno bodů, které je použitelné pro tvorbu HD map, by mělo splňovat:

- Urovnání jednotlivých skenů a vícenásobných průjezdů.
- Odmazání šumu a pohyblivých objektů.
- Eliminace všech pohyblivých i statických objektů, které nejsou dlouhodobě součástí scény v okolí tratě.
- Obarvení mračna bodů pomocí reálných barev z panoramatické kamery.

Následné zpracování HD map, occupancy gridu nebo vektorového objektového modelu by mělo být provedeno tak, aby je bylo možné využít pro různé výstupy a zároveň je bylo možné přizpůsobit na základě požadavků dodavatele vozidla, zákazníka či města.

Standardním formátem pro lidarová data je formát LAS/LAZ. Data by měla obsahovat informace o poloze, intenzitě odrazu, barvě (RGB) a v ideálním případě i klasifikace.

HD Mapy a vektorová data by měla být předávána ve standardním výměnném formátu (3D GIS, OPENDrive).

Cílem je vytvořit model, který bude použitelný pro výrobce autonomních vozidel a zároveň nastavit efektivní způsob jeho aktualizace, aby nebylo nutné platit za každé nové mapování.

10.3 Implementace a integrace (vč. dílčího testování)

Kolejové vozidlo

V rámci testování autonomních vozidel je důležité důkladně ověřit a zhodnotit efektivitu antikolizních systémů v různých situacích a podmínkách provozu. Předpokládá se testování systémů v různých lokalitách

a simulace různých scénářů, včetně prudkých manévřů, neočekávaných překážek či vstupu ostatních účastníků silničního provozu. Dalším krokem v rámci ověřování funkčnosti je ověření interoperability antikolizních systémů s ostatními bezpečnostními prvky a systémy autonomního vozidla, jako jsou systémy navigace, adaptivní řízení rychlosti a nouzové brzdění. To zahrnuje integrované testování a simulace v reálném čase, aby se zajistilo, že všechny systémy pracují harmonicky a spolehlivě v různých situacích.

Kromě toho je důležité také provádět testování antikolizních systémů v souladu s platnými bezpečnostními normami a předpisy pro funkční bezpečnost automobilových systémů. To zahrnuje ověření, že antikolizní systémy splňují příslušné požadavky na výkonnost, spolehlivost a bezpečnost, a že jsou schopny účinně reagovat na různé potenciální hrozby a nebezpečné situace.

Testování lze rozdělit do dvou základních kategorií: dle místa testování a dle účelu testování.

Místo testování:

- Testování na polygonu – uzavřeném areálu či jiném definovaném místě bez možnosti vstupu náhodných osob.
- Testování ve městě.

Účel testování:

1. **Testování systému výrobcem** – zákazník může požadovat doložení o typech testů a způsobu testování.
2. **Testování, které provádí dopravní podnik před koupí a následně v pravidelných intervalech dle požadavků výrobce** (případně dle doporučení normy VDV 191).
3. **Testování pro drážní úřad** – v České republice je nutností ověřit systém dle testů požadovaných drážním úřadem.

Město či dopravní podnik pořizující nové antikolizní systémy do svých tramvají by vždy mělo trvat na kombinaci těchto testování.

1. **Doložení testů, které výrobce prováděl při vývoji a testování na jiných typech tramvají.** Slouží pouze k obecnému přehledu možností daného antikolizního systému.
2. **Ukázka a doložení výrobcem zákazníkovi:** Série testů v depu dopravního podniku. Testy by vždy měly být provedeny na daném typu tramvaje a nikoliv pouze s daným typem antikolizního systému. Důvodem jsou rozdílné možnosti brzdné soustavy každé tramvaje.
3. **Testování v běžném provozu.** Zákazník si nechá ověřit u drážního úřadu povinnost najíždění určitého počtu km v daném městě. Zároveň s tímto testováním si i zákazník může vyžádat své vlastní ověření požadované funkcionality.

Testování by mělo probíhat v provozu minimálně dvojím způsobem:

A) Zapnuté audiovizuální varování řidiče: Zde se stanoví počet najetých kilometrů a je nezbytné, aby počet falešně pozitivních varování nepřekročil vydefinované množství na každé trati. Po ujetí určitého množství kilometrů (např. 20 tisíc km) by měl mít jak zákazník, tak výrobce detailní přehled o kvalitě systému v daném městě. Pokud proběhne akceptace počtu falešně pozitivních varování, může se přejít do druhé fáze – zapnutá brzda.

B) Systém již jezdí plně funkční a opět se klade velký důraz na počet falešně pozitivních varování a zároveň počet spuštění brzdy v nevhodný okamžik.

V obou případech je nezbytné, aby tramvaje řídil dobře zaučený personál, který bude schopen adekvátně reagovat při chybném zásahu ACS. Řidič tramvaje si v obou těchto případech eviduje počty chybných zásahů a dokument je následně předán výrobcí pro analýzu systému

Technologie na infrastruktuře

Vzhledem k postupnému zavádění podpory autonomní mobility je vhodné i technologie na infrastruktuře budovat v souladu s plánovaným nasazením autonomních systémů a legislativou v krocích:

1. Vybavení uzavřených areálů, kde bude umožněn autonomní provoz vozidel – depa, konečné zastávky s TRAM smyčkami atd.
2. Kritická místa na infrastruktuře, křižovatky, zastávky MHD/VHD.
3. Ucelené úseky komunikační sítě.

Vybavení infrastruktury doplňkovými technologiemi by mělo být prováděno na základě schválené projektové dokumentace, která navrhne vhodné zařízení, způsob a provedení instalace zařízení. Při instalaci je pak nutné dodržovat všechny standardy a technické normy tak, aby byl zajištěn bezpečný a bezproblémový provoz všech zařízení:

- Používat pouze certifikovaná, schválená zařízení (elektrická bezpečnost, EMC, zástavba do vozidel, drážní normy apod.).
- Při instalaci dodržovat příslušné normy provést výchozí revize zařízení a předepsané pravidelné revize.
- Dbát na to, aby instalovaná zařízení neovlivňovala provoz ostatních zařízení nebo bezpečnost účastníků dopravního provozu (např. poloha instalovaného zařízení - netvořilo pevnou překážku, neomezovala rozhled, ...).
- Byla ochráněna před neoprávněnými zásahy nebo poškozením a vandalismem.
- Zajistit datovou konektivitu adekvátní významu zařízení a povaze získávaných dat (optické sítě, metalické sítě, 5G/LTE, LoRA, Wifi, ...).

V provozu je poté nutné zajistit:

- Sledovat provozní stav zařízení (up-time, výpadky, poruchy – lze i z centrálních prvků systémů).
- Provádět profylaktickou údržbu a servis zařízení k udržování zařízení v požadovaném stavu (nastavení, kalibrace atp.).
- Provádět obnovu zařízení při jejich nevyhovujícím stavu, poškození nebo překročení jejich životnosti.

Volba doplňkové detekční technologie je závislá na specifikách místa instalace a sledovaného jevu. Lze využít následující technologie detekcí:

- LiDAR,
- kamery,
- C-ITS,
- termokamery,
- radary,
- infračervené detektory,
- meteo hlásky,

- čidla hladiny.

Některé detektory dokáží přímo poskytovat požadovanou hodnotu snímané veličiny (výška hladiny, přítomnost, teplota, námraza apod.), u některých technologií je nutné získaná data vyhodnotit a požadované veličiny vypočítávat (např. využití dat ze C-ITS systému jako FCD, ...) nebo provádět fúzi dat z více typů detektorů a následné vyhodnocení dat. Vyhodnocení je možné provádět na centrálním prvku (cloud computing) nebo přímo v místě detekce (Edge computing). Oba přístupy mají své výhody a nevýhody, včetně ekonomických a provozních.

- Cloud computing se spoléhá na centrální datová centra, kde jsou data uložena a zpracována, což může být nevýhodné z hlediska latence, zejména pokud se zařízení nacházejí daleko od těchto center.
- Edge computing se soustředí na zpracování dat blízko jejich zdroje, což je výhodné pro aplikace vyžadující rychlé reakce. Umožňuje rychlé a efektivní zpracování dat přímo u zdroje, pomáhá zlepšit výkon aplikací, snížit latenci a optimalizovat náklady na zpracování dat.

V praxi se často používá kombinace obou přístupů, kde cloud computing poskytuje dlouhodobé ukládání dat a edge computing se stará o lokální a okamžité zpracování.

Centrální prvky

Digitální dvojče

Digitální dvojče je komplexní virtuální model reálného prostředí, který musí být konzistentní a přesný, aby na základě pořízených dat bylo možné provádět analýzy, simulace a rozhodování o cílených změnách. Mělo by mít kvalitní uživatelské rozhraní, které umožňuje správné a přesné zobrazení dat. Na DD by taktéž měly navazovat dostupné analytické nástroje pro simulaci různých scénářů a predikci dopravního vývoje.

Kontrola funkčnosti

Pro kontrolu funkčnosti je potřeba ověřit, zda je digitální dvojče propojeno s dalšími relevantními datovými zdroji, jako jsou NDIC (Národní dopravní informační centrum), FCD (Floating Car Data), zdroje meteorologických údajů, informací o provozu veřejné dopravy a další. Digitální dvojče by mělo být schopno přijímat data z těchto zdrojů v reálném čase (zpoždění do 1 s) a zobrazovat je v uživatelském rozhraní (lze i kumulovaně za delší období). Tato data musí být k dispozici pro simulace a predikce a tím zajistit, že digitální dvojče bude schopno efektivně fungovat ve skutečných provozních podmínkách.

Škálovatelnost

Digitální dvojče musí být také škálovatelné a zvládat pravidelné aktualizace s novými daty, rozšířeními či modifikacemi podle aktuálního vývoje městské infrastruktury.

Dílicí testování

Přesnost a validace DD lze ověřit pomocí testování v reálném provozu, například porovnáním dat dostupných v digitálním dvojčeti s daty zdrojových systémů a aktuálními dopravními situacemi, aby bylo zajištěno, že návazné systémy budou získávat spolehlivé a kvalitní informace.

HD mapy a datový fond měst

Při implementaci nových technologií včetně HD map a DD je zapotřebí kontrola jejich kvality a funkčnosti.

U HD map je důležité zkontrolovat či otestovat:

- **Formát**
 - Struktura souboru by měla dodržovat standardizovaný XML formát OpenDRIVE. To zahrnuje správné hierarchické uspořádání dat, jako jsou definice silnic, křižovatek, geometrií, jízdních pruhů, dopravního značení a dalších prvků.
 - Soubor by měl mít validní syntaxi. Pro kontrolu lze použít nástroje pro kontrolu XML souborů (například XML Schema Validation), které ověří, zda je soubor bez chyb v syntaxi a dodržuje pravidla stanovená pro OpenDRIVE formát.
 - Geometrie prvků (linie, oblouky, spirály) musí být správně definovány a propojeny, aby odpovídali skutečné infrastruktuře silniční sítě.
 - Alternativně pokud není přesně definovaný formát HD map, může se místo OpenDrive jednat o dílčí data:
 - Mračno bodů ve formátech LAS/LAZ,
 - Modely terénu a budov ve formě 3D mesh,
 - Extrahované vektorové prvky komunikací ve 2D a 3D GIS formátech jako např. SHP.
- **Přesnost**
 - Všechny prvky mapy (silnice, křižovatky, jízdní pruhy) musí být zaměřeny v geodetické přesnosti (3. třídy). Přesnost lze ověřit pomocí referenčních geodetických bodů nebo validací v terénu.
 - V případě occupancy gridu lze provést dílčí testování přímo s autonomním vozidlem. Autonomní vozidlo by mělo být schopno lokalizovat se v rámci HD mapy podle souřadnicového systému a správně se orientovat v reálném prostředí.
- **Poloha**
 - Je důležité, aby HD mapy byly vytvořeny ve stejném souřadnicovém systému, který používá samotné vozidlo pro lokalizaci. OpenDRIVE formát typicky využívá lokální souřadnicový systém (s parametry s a t) nebo globální souřadnicový systém (například WGS84 nebo UTM).
 - Důležitou roli hraje také správná transformace naměřených dat do požadovaného souřadnicového systému. Při špatně zvolené transformaci může být celá mapa posunutá o několik desítek centimetrů či metrů.

10.4 Integrační testy

Kolejové vozidlo

Testování výrobcem – dle standardů Euro NCAP | Safety Assist či VDV191 pro testovací prostředí, zkušební vzorek a základní testy.

Obecné doporučení pro srovnávací testy: Srovnávací testy slouží pro totožné podmínky při srovnávání více systémů od různých výrobců. Pokud dopravní podnik testuje pouze jeden systém, může se od podmínek odchýlit, ale je nutné tyto podmínky zaznamenat do měřicího protokolu.

Klimatické podmínky:

- Testy provádíme za suchých podmínek s okolní teplotou nad 5 °C a pod 40 °C.

- Nesmí padat žádné srážky a horizontální viditelnost na úrovni země musí být větší než 300 m. Rychlost větru by měla být pod 5 m/s, aby se minimalizovalo rušení cíle.
- Pro denní testování musí být přirozené okolní osvětlení homogenní v testovací oblasti. V testovací oblasti nesmějí být žádné stíny kromě těch od testovacích prvků. Testovací jízdy neprovádíme při jízdě směrem ke slunci nebo od něj, když je přímé sluneční světlo.
- Noční testování má být prováděno v nočních hodinách, kde je světlo pouze od pravidelně se opakujícího osvětlení nebo žádné.

Testovací prostředí:

- Rovná trať v uzavřeném prostředí.
- Zkušební trať musí být tak dlouhá, aby tramvaj mohla zrychlit na požadovanou rychlost, rychlost ustálit a následně provést identifikaci překážky a brzdny manévr a na konci trati byla dostatečná rezerva pro případný zásah dohlížející obsluhy vozidla.
- Alespoň 3 m od temene kolejnic by neměly být žádné stromy, keře, traviny nebo jiná náhodně se ve větru pohybující zeleň. Zároveň ani žádný plot či jiné překážky.
- Dobrý kontrast mezi kolejnicí a vozovkou (kolejnice jasnější než zem).
- Žádné kovové plechy na zemi do 5 m před zkušebním vzorkem.
- Žádné pohyblivé předměty v blízkosti zkušebního vzorku.
- Zkušební vzorek musí být umístěn jako jediná překážka v oblasti detekce.
- Z bezpečnostních důvodů je nutné, aby za zkušebním vzorkem i kolem něj byla „zabezpečená oblast“.
- Testovací plocha je bez zastřešení a v bezprostřední blízkosti nejsou žádné budovy či jiné stavby.

V okamžiku testování systému před koupí doporučujeme systém vystavit různým okrajovým podmínkám, abychom poznali rozsah kvality systému.

Zkušební vzorek:

- Zkušební vzorek by měl být konstruován tak, aby se dal snadno přepravovat a skladovat. Vždy je důležité navrhnout testovací cíl tak, aby nedošlo k poškození tramvajového vozidla v okamžiku vzájemné kolize.
- Vlastnosti objektu, které by napomohly identifikovat objekt, jako jsou aktivní přenosové zařízení, nepřirozené zvýraznění odrazivosti, nejsou povoleny.
- Optické systémy: překážka, která lze opticky detekovat (plachta, na které je natištěn automobil) o rozměrech cca 1,5 m x 1,5 m. Barva překážky by měla být v kontrastu s pozadím.
- Radarové systémy: překážky odrážející radarové paprsky, které jsou uspořádány tak, že realisticky zobrazují osobní vozidlo.

Základní testy:

Testy v depu jsou prováděny vždy třikrát pro každou rychlost. Dvě z těchto tří zkoušek při každé rychlosti musejí být úspěšné.

1. Přiblížení se ke zkušebnímu vzorku: zkušební vzorek je umístěn ve středu kolejíště. Rychlost tramvaje se pohybuje od 10 km/h do 30 km/h a zvyšuje se v krocích po 5 km/h. Varování by mělo být vydáno v očekávaném čase. Může být nutné ručně spustit nebo podpořit brzdění, aby se zabránilo kolizi se zkušebním vzorkem.

2. Projetí kolem zkušebního vzorku v rychlosti 20 km/h: zkušební vzorek je umístěn 0,5 m mimo průjezdný profil tramvaje na přímé koleji. Řidič by neměl být na překážku varován.
3. Automatická brzda: zkušební vzorek je umístěn ve středu kolejiště. Rychlost tramvaje je 15 km/h. Srážce se zkušebním vzorkem by mělo být zabráněno bez podpory ručního brzdění řidiče.
4. Praktická zkouška: tento test je úspěšný, pokud není určitý počet falešně pozitivních výsledků, který si provozovatel a výrobce předem odsouhlasili na konkrétní testovací lince, překročen.

Rozšířené testování:

V okamžiku, kdy u jedné rychlosti 2x test selže a tramvaj nevaruje či neaktivuje brzdu, je test zastaven a pokračuje se na další scénář. Míra úspěšné akceptovatelnosti záleží na dané dohodě, kterou si provozovatel a výrobce předem odsouhlasili.

1. Přiblížení se ke zkušebnímu vzorku: zkušební vzorek je umístěn ve středu kolejiště. Rychlost tramvaje se pohybuje od 10 km/h do 60 km/h a zvyšuje se v krocích po 5 km/h. Varování by mělo být vydáno v očekávaném čase. Může být nutné ručně spustit nebo podpořit brzdění, aby se zabránilo kolizi se zkušebním vzorkem.
2. Přiblížení se ke zkušebnímu vzorku v rychlosti 10 km/h a 15 km/h: zkušební vzorek je umístěn v oblouku o poloměru cca 20 m, a to ve středu kolejiště. Řidič by měl být na překážku varován a tramvaj by měla zastavit před překážkou.
3. Přiblížení se ke zkušebnímu vzorku v rychlosti 10 km/h a 15 km/h: zkušební vzorek je umístěn v oblouku o poloměru cca 20 m, a to ve středu kolejiště, objekt je do poslední chvíle zastíněn (tramvají na sbíhající se koleji). Řidič by měl být na překážku varován a tramvaj by měla zastavit před překážkou.
4. Projetí kolem zkušebního vzorku v rychlosti 10 km/h a 15 km/h: zkušební vzorek je umístěn 0,5 m mimo průjezdný profil tramvaje, a to v oblouku o poloměru cca 20 m. Řidič by neměl být na překážku varován.
5. Automatická brzda: zkušební vzorek je umístěn ve středu kolejiště. Rychlost tramvaje je od 10 km/h do 60 km/h a zvyšuje se v krocích po 5 km/h. Srážce se zkušebním vzorkem by mělo být zabráněno bez podpory ručního brzdění řidiče.

Testování v běžném provozu: zde je vhodné provádět testování po delší dobu v běžném provozu. Ideální podmínky pro testování jsou na podzim a v zimě. Je vhodné projíždět většinu klíčových tratí provozovatele.

HD Mapy

HD mapa importovaná do systému vozidla by měla umožnit spolehlivou lokalizaci vozidla v celé délce koridoru, po kterém se vozidlo bude pohybovat. V případě problémů se ztrátou lokalizace v konkrétních místech musí dojít k analýze, zda je problém způsoben HD mapou, procesem jejího importu do vozidla, autonomními systémy vozidla nebo z jiných důvodů.

Digitální dvojče

Pro jednotlivé datové zdroje dojde ke kontrole, že na výstupu z API DD jsou údaje ze vstupních zdrojů dat:

- poskytována v potřebném rozsahu údajů,
- k dispozici se zpožděním nižším než 1 minuta,
- nedochází k výpadkům v časové řadě poskytovaných údajů,

- pokrývají všechny objekty, které mohou ovlivnit chování autonomního vozidla v daném území,
- objekty jsou správně napojeny na správné místo v HD mapě.

11 Popis uplatnění, benefity a další přínosy

11.1 Autonomní dopravní prostředky

Autonomní dopravní prostředky zvyšují efektivitu a bezpečnost městské dopravy, zároveň ale také přinášejí řadu dalších výhod z pohledu ekonomického či životního prostředí.

Implementace technologie aktivní bezpečnosti, jako jsou např. antikolizní systémy, monitorování okolí a jiné zajišťují, že autonomní dopravní prostředky mohou reagovat na nečekané situace rychleji než řidič. Implementace těchto technologií vede ke snížení nehodovosti, plynulosti jízdy a zvýšení celkového komfortu pro cestující.

Snížení provozních nákladů je jedním z nejvýznamnějších ekonomických přínosů autonomní dopravy. Jako příklad můžeme uvést efektivnější využití spotřebované energie a optimalizaci jízdy. Efektivnější jízda díky optimalizaci trasy, kdy vozidlo může optimalizovat rychlost, vede k úspoře elektrické energie a dále také k menšímu opotřebení součástí vozidel, což snižuje náklady na údržbu a opravy.

Úspora elektrické energie či spotřeba náhradních dílů má zároveň pozitivní vliv na životní prostředí, kdy menší energetická náročnost či snížení spotřeby náhradních dílů vede k nižším emisím skleníkových plynů.

11.2 Preference MHD/IZS

Osazení vozidel a infrastruktury technologií C-ITS umožňuje městům využít preferenci MHD/IZS na světelně řízených křižovatkách. K využití preference je nutné propojení mezi RSU a řadičem SSZ dané křižovatky. V případě splnění této podmínky je možné realizovat preferenci pomocí zpráv SRM/SSM u vozidel MHD a speciálních CAM u vozidel IZS. Principálně jsou tyto zprávy vyslány z vozidel do RSU, které je následně interpretuje řadič SSZ.

Mezi hlavní výhody patří:

- Zvýšení konkurenceschopnosti MHD vůči IAD,
- Optimalizace modal splitu,
- Zkrácení cestovních dob MHD,
- Zvýšená přesnost dodržování jízdních řádů,
- Snížení energetické náročnosti dopravy MHD,
- Zvýšení průměrné rychlosti může vést ke snížení počtu vozidla potřebných k provozování dané linky,
- Využití dat k dalším analýzám,
- Zvýšení bezpečnosti a snížení rizika nehod,
- Zvýšení bezpečnosti posádky vozů IZS,
- Snížení dojezdových časů pro vozidla IZS.

11.3 Využití HD map v prostředí měst

Využití DD

Digitální dvojče umožňuje městům efektivně pracovat s informacemi o dopravní infrastruktuře a mobilitě, optimalizovat pohyb vozidel, monitorovat stav jednotlivých systémů a vizualizovat je v reálném čase díky propojení dynamických dopravních dat z různých zdrojů. Slouží pro analýzu dějů a optimalizaci dopravních řešení (např. linkové dopravy) a je cenným zdrojem pro simulace.

Mezi hlavní výhody patří:

- Informační podpora provozu autonomních vozidel, vozidel MHD, řízení dopravy,
- Informace pro analyzování chování mobilitní poptávky a nabídky v čase a prostoru,
- Detekce problémových míst v oblasti mobility,
- Monitorování a rekonstrukce průběhu konkrétních krizových situací,
- Zlepšení komunikace a rozhodování v oblasti rozvoje sítě komunikací, linkového vedení a jízdních řádů, podpory sdílené mobility,
- Data pro simulace podporující vývoj a nasazování autonomních vozidel.

Stávající stav využití HD map

HD mapy jsou klíčovou technologií pro plně autonomní řízení, kde jsou využívány k přesné navigaci, plánování tras a interpretaci prostředí. Kromě toho jsou HD mapy důležité i pro pokročilé systémy asistence řidiče a simulace a vývoj autonomních systémů.

Použití pro plně autonomní řízení

- Je blíže popsáno v kap. 7.1 (Autonomie vozidel).
- Příklady: Waymo (Google) a Cruise (General Motors) používají HD mapy pro autonomní vozidla, která operují v reálném provozu, například v městech jako Phoenix, San Francisco nebo Detroit.

Použití pro pokročilé systémy asistence řidiče (ADAS):

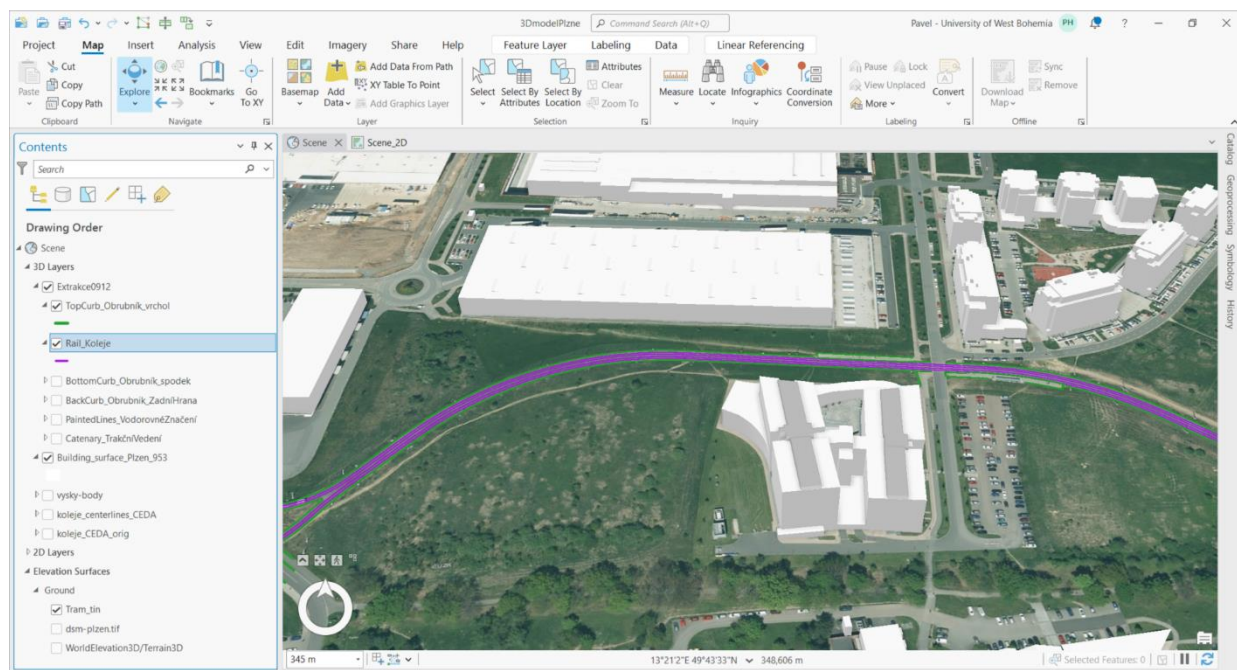
- HD mapy jsou klíčové pro pokročilé systémy asistence řidiče, které zahrnují funkce jako adaptivní tempomat, asistenci při změně jízdního pruhu, automatické nouzové brzdění a další. Tyto systémy využívají HD mapy k lepšímu pochopení dopravního prostředí a k provádění prediktivních akcí, které zvyšují bezpečnost a pohodlí řidiče.
- Příklady: Systémy jako Antikolizní systém tramvají Škoda Group, GM Super Cruise, a BMW Driving Assistant Plus používají HD mapy pro pokročilé asistence.

Použití pro simulace a vývoj autonomních systémů:

- HD mapy jsou nezbytné pro vývoj a testování autonomních systémů v jízdních simulátorech. V simulovaných prostředích, která využívají HD mapy, mohou vývojáři testovat a optimalizovat algoritmy pro autonomní řízení, aniž by potřebovali fyzicky provádět všechny testy na silnicích či kolejích.
- Simulátory jako NVIDIA Drive Sim a Unity Simulation používají HD mapy k vytvoření realistických virtuálních prostředí pro vývoj a testování autonomních vozidel.

Použití v městském prostředí:

- **Infrastruktura a datové sady:** Díky vysoké úrovni detailů umožňují přesnou evidenci silniční infrastruktury (hrany komunikace, jízdní pruhy, křižovatky, semaforey a dopravní značení, ...). Města mohou HD mapy využít také k propojení s dalšími městskými datovými fondy, jako jsou 3D modely měst, digitální technické mapy a informace o důležitých bodech zájmu (POI), čímž je mohou aktualizovat a nebo rozšířit o nové informace či vrstvy. Ukázkou propojení digitálního modelu reliéfu, 3D modelů budov, ortofota a objektů extrahovaných z HD mapy (koleje a obrubníky kolem tratě).



Obr. 11: Ukázka propojení DMR, 3D modelů budov, ortofota a objektů extrahovaných z HD mapy

- **Použití pro prediktivní údržbu a správu infrastruktury:** HD mapy mohou být využívány k monitorování stavu silniční infrastruktury a k prediktivní údržbě. Díky detailním údajům o povrchu silnic a dalších aspektech infrastruktury mohou správci silnic identifikovat potřebu údržby a opravy ještě předtím, než dojde k vážným problémům.
- **Použití pro správu flotil a logistiku:** V logistice a správě vozových parků mohou HD mapy pomoci optimalizovat trasy a zlepšit efektivitu doručování. Umožňují přesnější plánování tras s ohledem na aktuální dopravní podmínky, sklony silnic a další faktory, které ovlivňují spotřebu paliva a čas doručení.

12 Ekonomické aspekty

12.1 Technologie na infrastruktuře

Uvedené ceny jsou orientační pro jednoduché instalace, kdy je existující infrastruktura pro napájení a umístění (sloup VO/stožár SSZ) technologie a pevné datové připojení (modem LTE/5G je součástí kalkulace).

C-ITS RSU	Od 100 tis. Kč/místo
C-ITS RSU u řadiče SSZ (nastavení RSU, dopravní řešení)	Od 200 tis. Kč/křižovatka
LiDAR	Od 100 tis. Kč/místo

12.2 Centrální prvky

Uvedené ceny jsou orientační pro pořízení základní funkcionality C-ITS BO dle požadavků na centrální stanice C-ITS systému, jeho architekturu a komunikační protokoly/API. Ceny jsou za pořízení SW, nejsou zohledněny služby servisu a údržby. Nejsou zahrnuty náklady na pořízení HW a prostředí pro běh systému C-ITS BO (HW, OS, virtualizační SW, ...). C-ITS BO může být provozován také formou služby, která je zpravidla odvozena od rozsahu systému a počtu zapojených jednotek/uživatelů (OBU, RSU, Mobilní APP, ...).

Digitální dvojče – napojení datových zdrojů	Od 10 tis. Kč / komunikační protokol
	Od 50 tis. Kč / datový model
Digitální dvojče – provoz (dle objemu informací a počtu dotazů)	Cca 100 tis. Kč – 1 mil. Kč / rok
Vývoj specifických funkcí, frontendů apod.	individuální

12.3 HD mapy a datový fond měst

V lokalitách s absencí dat z mobilního mapování či jiných datových sad, které pokrývají celou zájmovou oblast, je zapotřebí nového mapování a následného vytvoření HD map.

Ceny jsou orientační, záleží na lokalitě, délce celkové trasy/oblasti a komplexnosti infrastruktury. U HD map záleží na míře detailu popisovaných objektů. Ceny jsou odhadované pro cenovou hladinu roku 2024.

Pořízení primárních dat metodou HD mobilního mapování (mračno bodů, kamerové snímky).	Od 5 tis. Kč / km
Cenu významně ovlivňuje celková délka měřené sítě komunikací.	

Extrakce objektů a pořízení dílčích výstupů pro systémy ADAS a autonomní systémy Cena je silně závislá na rozsahu digitalizovaných informací.	Od 10 tis. Kč / km
Pořízení HD mapy do standardizovaného formátu Cena je výrazně ovlivněna množstvím objektů a složitostí lokalit a křižovatek.	Od 20 tis. Kč / km
Údržba, aktualizace datové sady (bez komplexního přemapování pomocí mobilního mapování)	Cca 20 % pořizovací ceny / rok

Uvedené ceny instalací a náklady na provoz a údržbu jsou uvedeny jako příklad k představě o řádu celkových nákladů a jejich struktuře, které jsou vztaženy k pilotnímu projektu v roce 2024. Pro každý realizovaný projekt je však nutné vypracovat komplexní finanční plán, vycházející z projektové dokumentace a aktuálních tržních cen, přičemž cenu může do značné míry ovlivnit i konkurenční boj v rámci zadávacího řízení na dodavatele technologií.

Součástí údržby je i zajištění dlouhodobé životnosti zařízení a provádění potřebných činností v rámci profylaktické prohlídky zařízení, systémů a pravidelného upgrade FW a SW. Ekonomické aspekty týkající se životního prostředí, sociálních dopadů, bezpečnosti a dalších vlivů není možné vyjádřit přímo, neboť implementace systémů podle dokládané metodiky vytváří sekundární ekonomické efekty, které není možné primárně vyčíslit, ale vytvářejí ucelený přínos mající vliv na bezpečnost a plynulost provozu na pozemní komunikaci zejména na kolejové síti města a jejího tramvajového provozu s postupným zaváděním automatizované a autonomní tramvajové dopravy (tj. GoA 2 a vyšší). Nepřímo se může jednat o nemalé dopady při kvalitním a přesném zavádění nových systémů, jež budou spolehlivě omezovat negativní faktory, jako jsou nepřesné detekční, měřicí, funkční či lokalizační informace a nebezpečné situace a manévry v tramvajovém provozu, které mohou vest k nehodám nebo k falešné detekci, a tím omezení funkcí jednotlivých systémů v tramvaji, ale i na infrastruktuře, přičemž tyto negativní dopady mohou být z ekonomického pohledu značné včetně ztrát na lidských životech.

Komplexní vyhodnocení přínosů je tak nutné provádět nad celkovou architekturou a technickým řešením, neboť synergický efekt v těchto případech může být značný a pozitivní vlivy z nich plynoucí nezanedbatelné.

13 Srovnání novosti postupů

Novost daného přístupu spočívá nejen v komplexním návrhu, který řeší nejen jednotlivé části systému, ale zároveň přináší ucelený přístup k definovaným komponentům pro autonomní provoz dopravního prostředku. Projekt se vyznačuje inovativním přístupem k využití moderních technologií, jehož výchozím bodem je dotační projekt zaměřený na vytvoření realistického 3D modelu města. Tento model slouží jako základ pro modelování různých stavů a scénářů, které mohou nastat v městských přepravních procesech. Model byl následně obohacen o různé datové vrstvy, které zahrnují statické, dynamické a semi-dynamické informace. Výsledkem je tedy obohacený a realistický 3D model pilotního úseku, jenž slouží jako testovací prostředí.

Pilotní úsek, vybraný v Plzni, byl navržen tak, aby reflektoval požadavky výrobců vozidel městské hromadné dopravy (MHD) na přesná data, která jsou nezbytná pro vysoce automatizované a autonomní řízení. Projekt je ambiciózní i v tom, že si klade za cíl definovat pravidla a podmínky pro budování dynamických digitálních map (HD mapy), které budou sloužit autonomním vozidlům na celém území České republiky.

Inovativní přístup spočívá zejména v integraci dynamických dat z detekčních zařízení na infrastrukturu (například semaforey, elektrické obslužné jednotky a dopravní značení) a v samotných testovacích vozidlech. Tento přístup umožňuje reálné zobrazení dopravních situací v HD mapách a jejich aktualizaci v reálném čase, což je klíčové pro bezpečný provoz autonomních vozidel. Na závěr projektu byla vypracována praktická ukázka scénáře, která je uvedena v příloze a ilustruje funkčnost systému ve všech jeho vrstvách.

Pro přenos dat mezi jednotlivými prvky systému, jako jsou vozidla, infrastruktura (SSZ, EOV, dopravní značení) a serverová část, jsou použity nejnovější komunikační technologie, mezi které patří zejména technologie ITS-G5. Tento standard, vyvinutý pro inteligentní dopravní systémy, umožňuje komunikaci mezi jednotlivými vozidly (V2V) a mezi vozidly a infrastrukturou (V2I), čímž se zajišťuje efektivní a bezpečný přenos dat. Tato technologie bude postupně implementována i v dalších městských prostředích v ČR, což přispěje k rozvoji infrastruktury připravené pro autonomní mobilitu.

Celkově tento projekt představuje unikátní přístup, který může posloužit jako vzor pro další města nejen v České republice, ale i v zahraničí, při přípravě na zavádění autonomních vozidel a pokročilých inteligentních dopravních systémů.

14 Závěr – Manažerské shrnutí

Metodika naplňuje prioritní téma v oblasti digitalizace dopravy v oblasti ITS technologií, autonomních systémů, digitální a datové infrastruktury. V metodice jsou uváděny nejnovější komunikační technologie na bázi ITS-G5, LTE a 5G, telematické ITS technologie a datové struktury pro řízení dopravy v oblasti autonomních systémů včetně komunikace vozidla s infrastrukturou. Díky vytvoření HD virtuálního obrazu testovacího polygonu a snaze synchronizovat dostupné informace téměř v reálném čase z fyzické infrastruktury do digitálního obrazu, je možné tyto výstupy nabídnout dalším účastníkům provozu, správcům dopravní infrastruktury i dalším zainteresovaným stranám.

Metodika pak může sloužit jako podklad pro zavádění dalších komunikačních a řídicích prvků pro budoucí dopravní systémy, včetně komunikujících, propojených a automatizovaných vozidel a telematických či bezpečnostních systémů. Digitalizace dopravy v této metodice zahrnuje nejen rozvoj autonomních, spolupracujících a komunikujících vozidel, ale i chytré, sensoricky vybavené dopravní infrastruktury a virtualizaci této infrastruktury. Součástí metodiky je podrobný popis a doporučení modelu zahrnujícího HD mapy dopravní infrastruktury, dopravní informace a události, které jsou promítány do modelu téměř v reálném čase.

Na testovacím úseku v Plzni byly instalovány senzory pro automatickou detekci překážek za použití různých technologií, jako je lidar nebo videodetekce. Pro účely pilotních testů byl výběr vhodných zařízení ověřen a popsán v této metodice, přičemž byly stanoveny minimální a optimální technické specifikace na základě zpětné vazby od výrobců vozidel a tvůrců HD map, kteří tato zařízení ověřovali. Veškeré dopravní informace, detekované překážky a stavy jsou v reálném čase přenášeny na server, kde jsou zpracovány a integrovány do HD mapy určené pro autonomní řízení.

Součástí popisné specifikace metodiky je také návrh opatření a jejich implementace pro zajištění kybernetické bezpečnosti. V rámci komunikace mezi jednotlivými prvky systému jsou navrženy části, které využívají poznatky a závěry z evropské platformy CROADS a konsorcia C2C. Tyto platformy primárně zajišťují harmonizaci komunikační technologie C-ITS, která využívá technologie ITS-G5 pro krátkovlnnou komunikaci a stávající datové sítě (LTE/5G) pro komunikaci na delší vzdálenost. Metodika rovněž řeší problematiku bezpečné lokalizace autonomních vozidel, která se nemohou spoléhat pouze na satelitní navigaci, zejména v městských centrech. Proto metodika uvádí řešení založené na kombinaci sensorických systémů ve vozidlech, které dokáží analyzovat 3D objekty v jejich okolí a porovnávat je s přesně zaměřenými objekty (s přesností 1-10 cm ve 3D), přičemž jsou tyto informace zpracovány do HD mapy.

Pro vytvoření několikakilometrového úseku HD mapy byla použita inovativní technologie HD mobilního mapovacího systému, která umožňuje určování polohy s přesností v řádu centimetrů až nižších decimetrů. Tyto HD mapy slouží k porovnání naměřených vzdáleností od objektů detekovaných sensorickými systémy, a následně jsou tyto údaje zpracovány návaznými softwarovými moduly.

15 Seznam literatury

- [1] SAE International. (2024). SAE International: Advancing mobility knowledge and solutions. Dostupné z: <https://www.sae.org/>
- [2] ČSN EN 62290-1 (333530) N Drážní zařízení - Systémy řízení městské dopravy s vyhrazenou vodicí dráhou. Část 1, Systémové principy a základní pojmy = Railway applications - Urban guided transport management and command/control systems. Part 1, System principles and fundamental concepts. Praha: Český normalizační institut, 2007. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>.
- [3] Zákon č. 266/1994 Sb., o drahách
- [4] Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu)
- [5] Vyhláška č. 173/1995 Sb., kterou se vydává dopravní řád drah
- [6] Vyhláška č. 177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah
- [7] Vyhláška č. 232/2015 Sb., o drážní dopravě
- [8] Lokaj, Z.; Šrotýř, M.; Zelinka, T.; Fialová, E.; Matejka, J.; Jedlička, P.; Ščerba, T.; Stehlík, V. et al. Návrh úpravy jednotlivých právních institutů a aspektů platných v České republice relevantních pro zavádění vozidel od stupně automatizace SAE 3 a výše do provozu a zajištění jejich provozu, 2022, Závěrečná zpráva projektu TIRAMD108, programu TAČR Beta 2
- [9] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/679 ze dne 27. dubna 2016 o ochraně fyzických osob v souvislosti se zpracováním osobních údajů a o volném pohybu těchto údajů a o zrušení směrnice 95/46/ES (Obecné nařízení o ochraně osobních údajů)
- [10] Lokaj, Z.; Šrotýř, M.; Zelinka, T.; Vaniš, M.; Flaškár, M.; Jirovský, J. Certifikovaná metodika nastavení vhodných opatření snižujících rizika nepřiměřeného zásahu do soukromí (TL03000691), 2023.
- [11] Zákon č. 181/2014 Sb., o kybernetické bezpečnosti o změně souvisejících zákonů (zákon o kybernetické bezpečnosti)
- [12] Vyhláška č. 82/2018 Sb., o bezpečnostních opatřeních, kybernetických bezpečnostních incidentech, reaktivních opatřeních, náležitostech podání v oblasti kybernetické bezpečnosti a likvidaci dat (vyhláška o kybernetické bezpečnosti)
- [13] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2022/2555 o opatřeních k zajištění vysoké společné úrovně kybernetické bezpečnosti v Unii
- [14] HERE Technologies. (2024). HD Live Map. Dostupné z: <https://www.here.com/platform/HD-live-map>
- [15] TomTom. (2024). TomTom: Maps and Navigation Solutions. Dostupné z: <https://www.tomtom.com>
- [16] Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. (2024). C-Roads CZ Specifikace systému v2.0. Dostupné z: https://www.its-knihovna.cz/CDV/media/ITS-Knihovna/Projekty%20a%20studie/C_ROADS/Technick%C3%A9%20normy%20a%20standarty/C-Roads-CZ-Specifikace-systemu-v2-0.pdf
- [17] European New Car Assessment Programme. (2024). Safety Assist Protocols for Engineers. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en/for-engineers/protocols/safety-assist/>

- [18] VDV. (2019). Advanced Driver Assist Systems. Dostupné z: https://www.heritagetrolley.org/images/VDV191_2019-07_E%20Advanced_Driver_Assist_Systems.pdf
- [19] Volný M et al.: Creation of a dynamic digital street model for the needs of autonomous driving in Pilsen, Research report of the project TA ČR CK03000179, Prague 2023
- [20] Volný M et al.: Creation of a dynamic digital street model for the needs of autonomous driving in Pilsen, Research report of the project TA ČR CK03000179, Prague 2024
- [21] T. Tichý et al., Information Modelling and Smart Approaches at the Interface of Road and Rail Transport, 2023 Smart City Symposium Prague (SCSP), Prague, Czech Republic, 2023, pp. 1-8, doi: <https://doi.org/10.1109/SCSP58044.2023.10146231>
- [22] Vaniš M., Horák M., Tichý T., Lokaj Z., Malý M, Brož J.: Autonomous Trams and Urban Infrastructure: A Methodological Approach to Testing and Integration, In: 2024 Smart City Symposium Prague (SCSP). IEEE, 2024. pp. 1-7. 979-8-3503-6095-0/24/\$31.00 ©2024 IEEE <https://doi.org/10.1109/SCSP61506.2024.10552728>
- [23] Z. Lokaj, M. Srotyr, M. Vanis, and J. Broz, "Technical part of evaluation solution for cooperative vehicles within C-ROADS CZ project," in 2020 Smart City Symposium Prague (SCSP), 2020, pp. 1-5. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9133885>.
- [24] Hájek, P.; Kepka, M.; Fiala, R.; Janečka, K.; Jedlička, K. et al. On the combination of Dynamic Features into 3D City Models. In: MARINOVA, Silvia, BANDROVA, Temenoujka a KONEČNÝ, Milan (ed.). 9th International Conference on Cartography and GIS Proceedings. Sofia: Bulgarian Cartographic Association, 2024, s. 356-364. ISSN 1314-0604. Dostupné z: [https://iccgis2024.cartography-gis.com/papers/9ICCGIS-ProceedingsPaper%20\(38\).pdf](https://iccgis2024.cartography-gis.com/papers/9ICCGIS-ProceedingsPaper%20(38).pdf)

Přílohy

Příloha 1 - Ukázka testovacího scénáře včetně vyhodnocení

TESTOVACÍ SCÉNÁŘ	
Číslo testu: 7	Název testu: Zásah vozidla IZS na trati
Primární detekční technologie: C-ITS OBU	Další technologie: C-ITS BO, DD, ACS
Vozidla a vybavení: Tramvaj vybavená C-ITS OBU s HMI, Vozidlo IZS či Testovací vozidlo IZS (automobil) vybavené C-ITS OBU	
Cíl testu: Cílem testu je ověření schopnosti tramvaje detekovat zasahující vozidlo IZS (jedoucí či stojící) na trati či v její blízkosti pomocí C-ITS a přizpůsobit tomu další jízdu. Ověření přenosu informací o zásahu IZS do centrálního prvku.	
Počáteční podmínky a předpoklady: - Funkční C-ITS OBU jednotka tramvaje vč. HMI - Funkční C-ITS OBU jednotka IZS či testovacího vozidla nastavená jako vozidlo IZS - Probíhá komunikace tramvaje i vozidla (C-ITS OBU) s centrálním prvkem (C-ITS BO) - Probíhá komunikace mezi C-ITS BO a DD - Spolehlivá identifikace aktuální polohy vozidla	
Výchozí situace: - Tramvajové vozidlo se nachází v prostoru výstupní zastávky Univerzita. - Vozidlo IZS nebo testovací vozidlo (automobil) se nachází v prostoru autobusové zastávky Univerzita ve směru Podnikatelská a je připraveno k jízdě.	



Průběh testování:

1. Tramvaj ovládaná řidičem se rozjede na tramvajovou smyčkou předepsanou rychlostí.
2. Vozidlo IZS zapne maják (v případě testovacího osobního vozidla sepne spínač u testovací OBU) a začne vysílat varovnou DENM zprávu o aktivním vozidle IZS.
3. Informace o blížícím se vozidle IZS je zasílána do C-ITS BO a dále do DD.
4. Vozidlo IZS se rozjede směrem ke křížení tramvajové trati s vozovkou.
5. DENM zpráva je přijata C-ITS OBU jednotkou v blízkosti se tramvaji a zobrazena na HMI řidiči.
6. Řidič tramvaje zpomalí, popř. zastaví a nechá projet vozidlo IZS.
7. Informace o blížícím se vozidle IZS je předána do ACS systému a zalogována (v rámci testů není možný přímý automatický zásah do ACS).
8. Vozidlo IZS se zapnutým majákem vjede na tramvajovou trať, pokračuje vlevo po tramvajové trati a zastaví na trati v blízkosti výjezdu z točny.
9. C-ITS OBU jednotka ve vozidle IZS detekuje zastavení vozidla IZS a po stanovené době 30 sekund automaticky změní vysílanou DENM zprávu na „zásah vozidla IZS“.
10. Informace o místě zásahu IZS je zasílána do C-ITS BO a dále do DD.
11. DENM zpráva je přijata C-ITS OBU jednotkou v tramvaji a zobrazena na HMI řidiči.
12. Řidič na základě této informace zastaví tramvaj v tramvajové točně.
13. Informace o místě zásahu IZS je předána do ACS systému tramvaje a zalogována (v rámci testů není možný přímý automatický zásah do ACS).
14. Vozidlo IZS ukončí zásah, odjede směrem k autobusovému terminálu a dále ulicí Podnikatelská.
15. Tramvaj se znovu rozjede a pokračuje dále v jízdě.

Testovací scénář je vhodné zopakovat s různými počátečními rychlostmi tramvaje, viz iterace. V průběhu scénáře jsou do centrálních prvků (BO-DD) kontinuálně přenášeny polohové informace o pohybu tramvaje i vozidla IZS (časové razítko, WGS souřadnice, rychlost, směr).

Iterace testování:

1. Počáteční rychlost tramvaje 10 km/h
2. Počáteční rychlost tramvaje 20 km/h

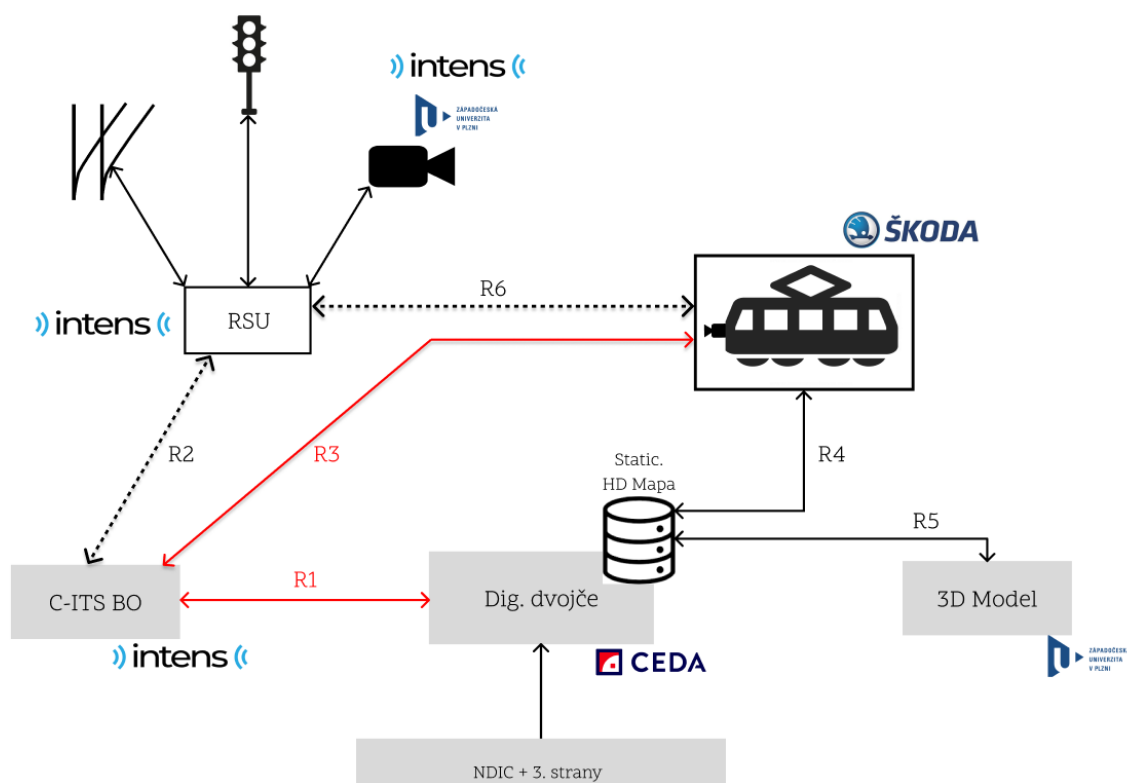
Doporučuje se provést trojnásobné opakování testu pro každou z výše uvedených rychlostí. Pokud bude iterace neúspěšná, počítá se navíc s opakováním.

Konkrétní užití a vzájemná komunikace systémů:**Vozidlové systémy:**

- C-ITS OBU v tramvaji
 - Průběžné zasílání dat o pohybu vozidla do C-ITS BO
 - Příjem varovné DENM zprávy o blížícím se vozidle IZS, popř. zasahujícím vozidle IZS a zobrazení příslušných varování na HMI
 - Předání informací do ACS
- C-ITS OBU v (testovacím) vozidle IZS
 - Průběžné zasílání dat o pohybu vozidla do C-ITS BO
 - Vygenerování a vyslání varovných C-ITS DENM zpráv (blížící se vozidlo IZS / místo zásahu IZS) na základě detekce zapnutého majáku a detekce pohybu vozidla
 - Přes ITS-G5 do okolních vozidel
 - Přes LTE/5G do C-ITS BO
- ACS
 - Příjem informace o blížícím se vozidle IZS / místě zásahu IZS z C-ITS OBU a její zalogování

Centrální systémy:

- C-ITS BO
 - Průběžný příjem dat o pohybu tramvaje a vozidla IZS z C-ITS OBU a jejich zobrazení v GUI
 - Průběžné zasílání dat o pohybu vozidel do DD
 - Příjem varování o blížícím se vozidle IZS / místě zásahu IZS z C-ITS OBU a jeho zobrazení v GUI
 - Zaslání informací o blížícím se vozidle IZS / místě zásahu IZS do DD
- Digitální dvojče
 - Průběžný příjem dat o pohybu vozidel z C-ITS BO a jejich případná prezentace nad mapou
 - Příjem varování o blížícím se vozidle IZS / místě zásahu IZS z C-ITS BO a jejich případná prezentace nad mapou

**Předpokládaný výsledek:**

1. C-ITS OBU v tramvaji i (testovacím) vozidle IZS kontinuálně zasílají polohové informace do C-ITS BO.
2. C-ITS BO kontinuálně přijímá polohové informace z obou C-ITS OBU a zobrazuje polohy vozidel v GUI.
3. C-ITS BO kontinuálně předává polohové informace do DD.
4. DD kontinuálně přijímá polohové informace z C-ITS BO a případně je prezentuje v mapovém GUI.
5. C-ITS OBU ve vozidle IZS vygeneruje varovnou DENM zprávu při sepnutí majáku a vyšle ji do okolí i do C-ITS BO.
6. C-ITS OBU v tramvaji přijme varovnou DENM zprávu a zobrazí příslušné varování na HMI.
7. C-ITS OBU v tramvaji předá varovnou informaci o blížícím se vozidle IZS do ACS.
8. ACS přijme varovnou informaci o možné kolizi a zalogue ji.
9. C-ITS BO přijme varovnou DENM zprávu a zobrazí ji v GUI.
10. C-ITS BO zašle varování o blížícím se vozidle IZS do DD.
11. DD přijme varování o blížícím se vozidle IZS z C-ITS BO a případně ho prezentuje v mapovém GUI.
12. C-ITS OBU ve vozidle IZS vygeneruje varovnou DENM zprávu při zastavení vozidla po dobu 30 sekund a vyšle ji do okolí i do C-ITS BO.
13. C-ITS OBU v tramvaji přijme varovnou DENM zprávu a zobrazí příslušné varování na HMI.
14. C-ITS OBU v tramvaji předá varovnou informaci o místě zásahu do ACS.
15. ACS přijme varovnou informaci o možné kolizi a zalogue ji.
16. C-ITS BO přijme varovnou DENM zprávu a zobrazí ji v GUI.
17. C-ITS BO zašle varování o místě zásahu IZS do DD.
18. DD přijme varování o místě zásahu IZS z C-ITS BO a případně ho prezentuje v mapovém GUI.

Testovací protokol, scénář č. 7:

Vstup	Stav
Opakování testu č.	
Viditelnost	
Klimatické podmínky	
Světelné podmínky	
Stav trati	
Stav testovací tramvaje	
Vozidlo IZS vjelo do prostoru trati	ANO / NE

Očekávaný výsledek	Splněno
Tramvaj přijala informaci o výskytu IZS v blízkosti trati.	ANO / NE
Tramvaj přijala informaci o zastavení IZS na trati.	ANO / NE
Tramvaj včas zobrazila informaci řidiči.	ANO / NE
1. C-ITS OBU v tramvaji i (testovacím) vozidle IZS kontinuálně zasílaly polohové informace do C-ITS BO.	ANO / NE
2. C-ITS BO kontinuálně přijímal polohové informace z obou C-ITS OBU a zobrazoval polohy vozidel v GUI.	ANO / NE
3. C-ITS BO kontinuálně předával polohové informace do DD.	ANO / NE
4. DD kontinuálně přijímalo polohové informace C-ITS BO a případně je prezentovalo v mapovém GUI [CEDA].	ANO / NE
5. C-ITS OBU ve vozidle IZS vygenerovala varovnou DENM zprávu při sepnutí majáku a vyslala ji do okolí i do C-ITS BO.	ANO / NE

6. C-ITS OBU v tramvaji přijala varovnou DENM zprávu a zobrazila příslušné varování na HMI.	ANO / NE
7. C-ITS OBU v tramvaji předala varovnou informaci o blížícím se vozidle IZS do ACS.	ANO / NE
8. ACS přijal varovnou informaci o možné kolizi a zalogoval ji.	ANO / NE
9. C-ITS BO přijal varovnou DENM zprávu a zobrazil ji v GUI.	ANO / NE
10. C-ITS BO zaslal varování o blížícím se vozidle IZS do DD.	ANO / NE
11. DD přijalo varování o blížícím se vozidle IZS z C-ITS BO a případně ho prezentovalo v mapovém GUI.	ANO / NE
12. C-ITS OBU ve vozidle IZS vygenerovala varovnou DENM zprávu při zastavení vozidla po dobu 30 sekund a vyslala ji do okolí i do C-ITS BO.	ANO / NE
13. C-ITS OBU v tramvaji přijala varovnou DENM zprávu a zobrazila příslušné varování na HMI.	ANO / NE
14. C-ITS OBU v tramvaji předala varovnou informaci o místě zásahu do ACS.	ANO / NE
15. ACS přijal varovnou informaci o možné kolizi a zalogoval ji.	ANO / NE
16. C-ITS BO přijal varovnou DENM zprávu a zobrazil ji v GUI.	ANO / NE
17. C-ITS BO zaslal varování o místě zásahu IZS do DD.	ANO / NE
18. DD přijalo varování o místě zásahu IZS z C-ITS BO a případně ho prezentovalo v mapovém GUI.	ANO / NE

Komplikace během testu:

Poznámky:

Doba trvání testovací jízdy:

Vyhověl/nevyhověl

Datum:

Podpis:

Výsledky - shrnutí

Testování bylo provedeno 18. 7. od 11:00 do 12:00 h, včetně přípravy.

Podmínky:

- dobrá viditelnost,
- slunečno (cca 28 stupňů),
- stav trati – v pořádku,
- stav testovací tramvaje – funkční.

Celkově bylo provedeno 7 testů. Čtyři s jedním zkušebním za rychlosti tramvaje 10 km/h, další 3 za rychlosti 20 km/h.

Rychlost tramvaje 10 km/h:

Komunikace a systémy za všechny partnery byly funkční, řidiči se zobrazila informace na HMI a zareagoval na ni.

Testy vyhověly.

Rychlost tramvaje 20 km/h:

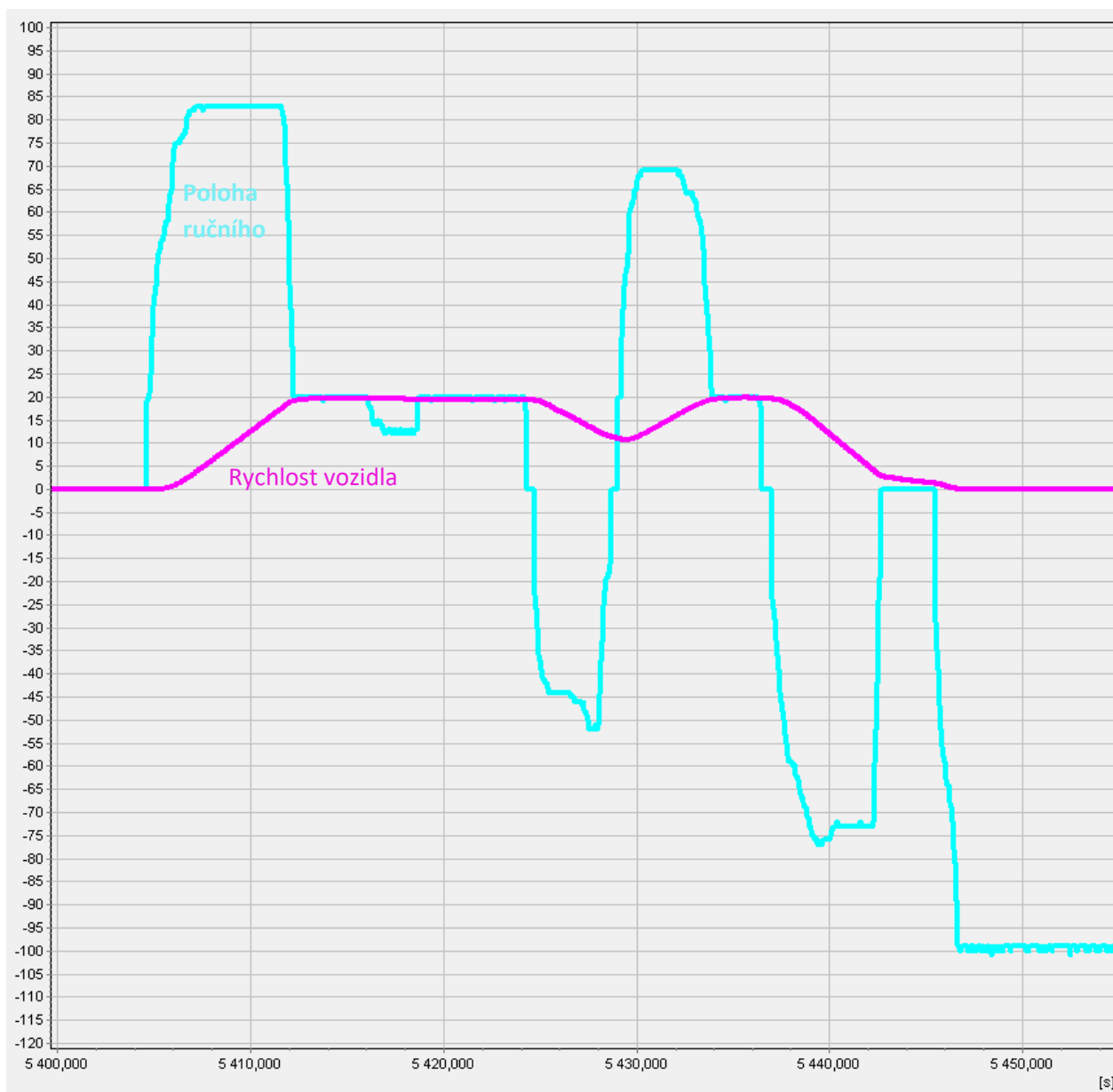
Komunikace a systémy za všechny partnery byly funkční, řidiči se zobrazila informace na HMI a zareagoval na ni.

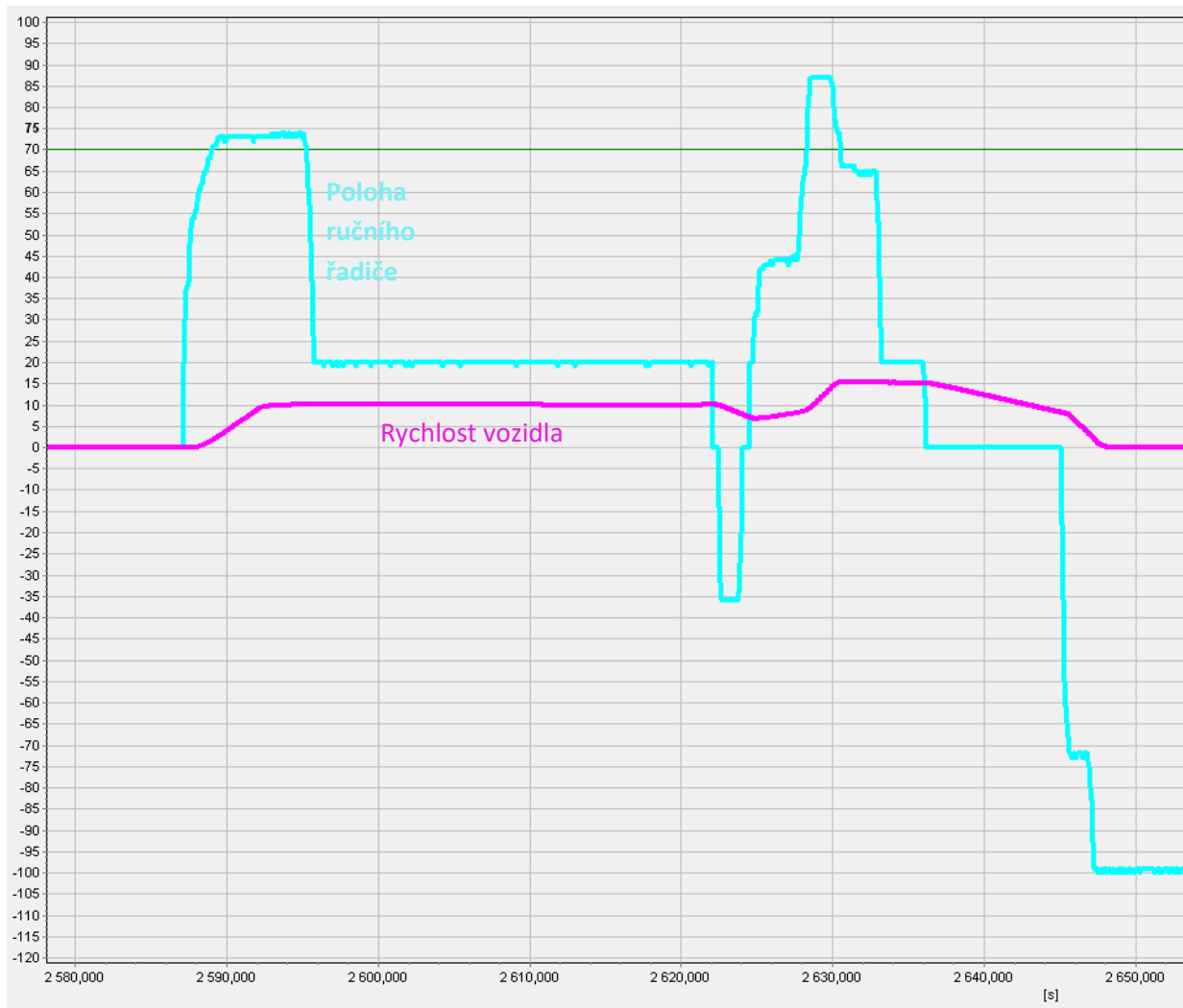
Testy vyhověly.

Výsledky jednotlivých testů

Rychlost tramvaje 10 km/h a 20 km/h

Během tohoto scénáře docházelo ke křížení s vozidlem IZS, konkrétně v kooperaci s hasičským záchranným sborem. Před případnou kolizí docházelo k varování řidiče prostřednictvím HMI před místem křížení. Testovací scénář byl proveden pro rychlosti 10 km/h a 20 km/h. Řidič na základě informace z HMI snížil automaticky rychlost a umožnil průjezd vozidlu IZS a poté pokračoval v jízdě. Zobrazení HMI zprávy řidiče nebylo provázáno s interním systémem vozidla, aby bylo možné záznamem doložit zpomalení vozidla na základě této informace. Z vozidlových signálů je patrné, že řidič snížil rychlost poté co se blížil k místu potenciální kolize, viz. vzorové záznamy pro každou rychlost níže.





Celkové vyhodnocení scénáře

- A. Vozidlo IZS zapne maják (v případě testovacího osobního vozidla sepne spínač u testovací OBU) a začne vysílat varovnou DENM zprávu o aktivním vozidle IZS.

Testy byly provedeny s výjezdovým vozidlem IVECO HZS Košutka. Ve vozidle je instalována C-ITS OBU jednotka přímo napojená světelné výstražné zařízení vozidly, kdy na základě spuštění výstrahy začne C-ITS OBU vysílat příslušný typ DENM zprávy s parametry CauseCode = 95 (Emergency Vehicle Approaching) a SubCauseCode = 1 (Emergency Vehicle Approaching).

Vyhodnocení testu bylo provedeno na základě:

- Logováním komunikace na rozhraních (ITS-G5 a LTE) C-ITS OBU, kontrola přítomnosti DENM zprávy,
- Logováním komunikace (pcap) rozhraní C-ITS BO.

- B. C-ITS OBU jednotka ve vozidle IZS detekuje zastavení vozidla IZS a po stanovené době 30 sekund automaticky změni vysílanou DENM zprávu na „zásah vozidla IZS“.

Tato funkce je implementována v C-ITS Stacku, který periodicky kontroluje změnu polohy a v případě, že změna polohy je po dobu 30s neměnná (se definovanou odchylkou), DENM zpráva se automaticky změni na parametry CauseCode = 15 (Rescue and Recovery Works) a SubCauseCode = 0 (Unavailable).

Vyhodnocení testu bylo provedeno na základě:

- Logováním komunikace na rozhraních (ITS-G5 a LTE) C-ITS OBU, kontrola přítomnosti DENM zprávy,
- Logováním komunikace (pcap) rozhraní C-ITS BO.

- C. Informace o blížícím se vozidle IZS je zasílána do C-ITS BO a dále do DD.

C-ITS BO předává definované události/zprávy na API pro přenos do DD.

Vyhodnocení testu bylo provedeno na základě:

- Logováním komunikace na rozhraních (ITS-G5 a LTE) C-ITS OBU, kontrola přítomnosti DENM zprávy,
- Logováním komunikace (pcap) rozhraní C-ITS BO.

- D. DENM zpráva je přijata C-ITS OBU jednotkou v blížící se tramvaji a zobrazena na HMI řidiči.

Testovací vozidlo (Škoda Octavia) vybavené C-ITS OBU a HMI (tablet s APP HMI připojený s OBU prostřednictvím wifi) obdrží varovnou DENM prostřednictvím technologie ITS-G5 a zobrazí informace na HMI (typ události, poloha).

Vyhodnocení testu bylo provedeno na základě:

- Logováním komunikace na rozhraních (ITS-G5 a LTE) C-ITS OBU, kontrola přítomnosti DENM zprávy,
- Vizuální kontrolou v testovací tramvaji.

Informace o pohybu a zásahu vozidel IZS jsou spolehlivě detekovány a uživatelé, kteří se k danému místu blíží, varování. Systém a zvolené technologie jsou vhodné pro reálné nasazení pro varování o mimořádných podmínkách na trase jízdy pro plně či částečně autonomní vozidla.

Pro tyto scénáře bylo zvoleno nastavení oblastí platnosti DENM zpráv pomocí „relevace distance“. To se ukázalo jako zcela vyhovující, neboť průjezd vozidla IZS je pro řidiče tramvaje i autonomní vozidlo důležitou informací ve většině situací, přestože nemusí nutně dojít ke křížení dráhy těchto vozidel.

Rychlost tramvaje 10 km/h

V rámci všech provedených opakování definovaného testu byly úspěšně ověřeny výše definované funkce systému A. až D. Testy byly úspěšné, nebyly identifikovány problémy nebo prodlení v předávání informací mezi prvky systému.

Rychlost tramvaje 20 km/h

V rámci všech provedených opakování definovaného testu byly úspěšně ověřeny výše definované funkce systému A. až D. Testy byly úspěšné, nebyly identifikovány problémy nebo prodlení v předávání informací mezi prvky systému.

Digitální dvojče

		1a	2a	3a	4a	1b	2b	3b
		11:09	11:16	11:28	11:41	11:47	11:52	11:57
1.	Dopravní události NDIC	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.	Informace o dopravě (FCD)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.	Informace o počasí	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4.	Informace a události z tramvaje	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5.	Události z CITS (Intens)							
	Poloha vozidla	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EmergencyVehicle	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	RescueAndRecovery	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

